



M 2014

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE SUPORTES ALVEOLARES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE GÉNEROS ALIMENTARES

SÓNIA CRISTINA PEREIRA VIEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM

MIEC – MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE SUPORTES ALVEOLARES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE GÉNEROS ALIMENTARES

SÓNIA CRISTINA PEREIRA VIEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e irmão

AGRADECIMENTOS

Ao concluir o presente trabalho, gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a sua realização, nomeadamente:

Ao Professor António Pedro Oliveira de Carvalho pelos conhecimentos transmitidos, pela sua disponibilidade, pelo interesse e pela ajuda sempre demonstrada durante a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro António Eduardo Batista da Costa pela disponibilidade e ajuda na realização nos ensaios realizados câmara reverberante R1 do Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

À minha família, em especial, aos meus pais e irmão pelo apoio, pelo carinho, pelos conselhos, pelo incentivo e por tudo aquilo que fizeram por mim.

Ao Zé, o meu namorado, pelo apoio, carinho, compreensão, amor, companheirismo, ajuda e por estar sempre do meu lado. Obrigada por tudo.

A todos os meus amigos, em especial, à Natália pela amizade, pela ajuda e pelo incentivo.

E por fim agradecer ao Márcio Barbosa e Conceição Bastos por me ajudarem a reunir a quantidade necessária de tabuleiros para a fruta. E também agradecer a todas as pessoas com quem eu comuniquei para conseguir arranjar os tabuleiros e caixas para ovos.

RESUMO

Atualmente, não é raro revestir algumas salas de ensaio de bandas filarmónicas, estúdios de gravação e salas de ensaio de “bandas de garagem”, com suportes alveolares de armazenamento e transporte de ovos, por ser uma solução económica de reduzir o tempo de reverberação e aumentar a difusão e assim as salas ficarem acusticamente melhor relativamente à atividade a que se destinam. Por isso, é importante que se conheça qual o coeficiente de absorção dos suportes alveolares, de modo a que seja possível quantificar numericamente o seu uso para esse fim.

Este trabalho tem como principal objetivo caracterizar o uso de suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares (vulgo “caixas de ovos”) como elemento acústico em salas para música.

As principais características analisadas neste trabalho são o coeficiente de absorção sonora e os índices *NRC* (*noise reduction coefficient*) e α_w . O coeficiente de absorção sonora é obtido através do método da câmara reverberante, de acordo com a norma NP EN ISO 354.

Através deste trabalho, entre todos os suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares estudaram-se os de dois produtos alimentares: ovos e fruta. Entre os suportes alveolares de armazenamento e transporte para ovos tem-se três tipos de tabuleiros de celulose moldada, dois tipos de caixas de celulose moldada e um tipo de caixa de plástico. Entre os suportes alveolares de armazenamento e transporte de fruta tem-se dois tipos de tabuleiros, um de celulose moldada e outro de plástico. Foram quantificados numericamente os coeficientes de absorção sonora, as áreas de absorção sonora equivalente total e as áreas de absorção sonora equivalente de cada elemento para cada tipo (e posicionamentos) de suporte alveolar das duas categorias e foram comparados os resultados de todas as amostras (no total 21 amostras) entre si para que se poder analisar qual é realmente o contributo que a geometria e o tipo de material têm nos resultados obtidos.

Após ter conhecimento de todos os parâmetros acústicos necessários, foi feita uma análise dos resultados onde se conclui que a amostra constituída por caixas (de celulose moldada) para 12 ovos (com pequenas aberturas) fechadas expostas pela superfície inversa é a que tem melhor desempenho em termos de coeficientes de absorção sonora e as que têm piores desempenhos são duas amostras, uma constituída por tabuleiros para fruta com 39 cavidades, expostos pela superfície normal, e a outra por caixas de plástico para 12 ovos, expostas pela superfície normal. Os resultados obtidos para o índice *NRC* foram entre 0,70 e 0,20, que se referem à amostra com melhor desempenho e às duas com piores desempenhos, respetivamente. Em relação ao índice α_w , os valores obtidos foram entre 0,65 e 0,10, que se referem à amostra com melhor desempenho e a uma com pior desempenho (tabuleiros para fruta com 39 cavidades, expostos pela superfície normal), respetivamente.

De forma a poder ter noção da grandeza dos coeficientes de absorção sonora obtidos nestas amostras, foram comparadas com outros materiais (aglomerado composto de cortiça e *K13-standard*, que são, respetivamente, materiais com “fraco” e “bom” desempenho acústico) de possível uso idêntico, onde se chegou à conclusão que os resultados dos coeficientes de absorção sonora das amostras deste trabalho tinham valores intermédios aos dos outros materiais.

Para entender de uma forma mais concreta os resultados dos coeficientes de absorção sonora, foi feita uma aplicação teórica específica, para uma garagem, com cerca de 36 m² e um pé-direito de 3 m, sem e com a colocação de suportes alveolares, nas paredes e teto, e com a colocação de dois materiais (aglomerado composto de cortiça e *K13-standard*). Concluiu-se que a amostra constituída por caixas (de celulose moldada) para 12 ovos (com pequenas aberturas) fechadas expostas pela superfície inversa é a melhor opção analisando os tempos de reverberação e os custos.

Por fim, foram feitos comentários de “boa aplicação” dos suportes alveolares, de modo a beneficiar de todas as suas potencialidades, em qualquer espaço que pretenda reduzir o tempo de reverberação de uma forma rústica e económica.

PALAVRAS-CHAVE: caixas e/ou tabuleiros para ovos, tabuleiros de fruta, absorção sonora, tempo de reverberação, salas de música.

ABSTRACT

Nowadays it is not rare for people to coat some philharmonic bands' rehearsal rooms, recording studios and rehearsal rooms of "garage bands" with alveolar containers for storage and transportation of eggs, as it is an economical solution to reduce the reverberation time and increase diffusion, making these rooms acoustically better in regard to the purpose they serve. It is therefore important to know the absorption coefficient of alveolar containers, in order to make possible to numerically quantify its use within this purpose.

This research main goal is to characterize the use of alveolar containers for storage and transportation of food supplies (the so-called "egg cartons") as an acoustic element in music rooms.

The key characteristics analyzed in this research are the sound absorption coefficient and the NRC (*noise reduction coefficient*) and α_w . The sound absorption coefficient was obtained through the reverberation chamber method, following the norm NP EN ISO 354.

Through this research, from the existing containers for storage and transportation of food supplies, two have been studied, those for eggs and fruit. Among the containers for eggs, there are three types of moulded cellulose trays, two types of moulded cellulose boxes, and one type of plastic box. Among the containers for fruit there are two types of trays, one of moulded cellulose and one made of plastic. We have numerically quantified the sound absorption coefficients, the areas of total equivalent sound absorption, and the areas of equivalent sound absorption of each element for each type (as well as positioning) of alveolar containers of the two categories and the results of all the samples (in total 21 samples) have been compared, in order to make possible to analyze the real contribution of geometry and the type of material upon the results obtained.

Following the recognition of all the necessary acoustic parameters, an analysis of the results has been conducted, from which it is concluded that the sample composed by closed boxes (of moulded cellulose) for 12 eggs (with small openings), exposed on the inverse surface, is the one which has the best performance in terms of sound absorption coefficients. In contrast, those showing the poorest performance are two samples, one composed by fruit trays containing 39 cavities, exposed on the normal surface, and another composed by plastic boxes for 12 eggs, exposed on the normal surface. The results obtained for the NRC level were between 0,70 and 0,20, respectively corresponding to the sample with the best performance and the two with worse performances. As far as the α_w level is concerned, the values obtained were between 0,65 and 0,10, which correspond to the sample with the best performance, and to one with worse performance, respectively (fruit trays containing 39 cavities, exposed on the normal surface).

To have an idea of the grandeur of the sound absorption coefficients obtained with these samples, they were compared with other materials (agglomerated composed cork and K13-standard, materials which are, respectively, "poor" and "good", in terms of acoustic performance) of possible identical use, thus concluding that the results of the sound absorption coefficients for samples analyzed in this research had intermediate levels regarding the other materials.

In order to better understand the results of the sound absorption coefficients, a specific theoretical application was carried out for a garage of about 36 m² and a 3-metre ceiling height, without and with the alveolar containers on walls and ceiling, and with the collocation of two materials (agglomerated composed by cork and K13-standard). It was concluded that the sample composed by closed boxes (of moulded cellulose) for 12 eggs (with small openings) exposed on the inverse surface is the best option, as far as the reverberation times and costs are concerned.

Finally, comments on the “good application” of alveolar containers have been made, so as to make the most of their potential in any space where the reduction of reverberation time can be done in a rustic, economical way.

KEYWORDS: egg cartons and/ or trays, fruit trays, sound absorption, reverberation time, music rooms.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xvii
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE	1
2. CONCEITOS ACÚSTICOS	3
2.1. NOÇÕES GERAIS	3
2.1.1. PRESSÃO	3
2.1.2. FREQUÊNCIA	6
2.1.3. TEMPO	8
2.2. ABSORÇÃO SONORA	8
2.2.1. GENERALIDADES	8
2.2.2. MATERIAIS ABSORVENTES SONOROS	10
2.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	12
2.4. DIFUSÃO	14
3. UTILIZAÇÃO DE CAIXAS DE OVOS COMO ELEMENTO ACÚSTICO	17
4. MEDIÇÕES	27
4.1. METODOLOGIA	27
4.1.1. DESCRIÇÃO	27
4.1.1. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	31
4.2. AMOSTRA	32

4.2.1. TIPOS	32
4.2.2. SUPORTES ALVEOLARES DE PAPEL.....	33
4.2.3. SUPORTES ALVEOLARES DE PLÁSTICO	40
5. RESULTADOS	43
5.1. SUPORTES ALVEOLARES DE PAPEL.....	43
5.1.1. AMOSTRA T20A.....	43
5.1.1.1. A_T , A_{obj} e α_S	43
5.1.1.2. NRC e α_w	45
5.1.2. AMOSTRA T30A.....	46
5.1.2.1. A_T , A_{obj} e α_S	46
5.1.2.2. NRC e α_w	50
5.1.3. AMOSTRA T30	50
5.1.3.1. A_T , A_{obj} e α_S	50
5.1.3.2. NRC e α_w	52
5.1.4. AMOSTRA C12A	53
5.1.4.1. A_T , A_{obj} e α_S	53
5.1.4.2. NRC e α_w	59
5.1.5. AMOSTRA C12.....	60
5.1.5.1. A_T , A_{obj} e α_S	60
5.1.5.2. NRC e α_w	62
5.1.6. AMOSTRA TF39	63
5.1.6.1. A_T , A_{obj} e α_S	63
5.1.6.2. NRC e α_w	65
5.2. SUPORTES ALVEOLARES DE PLÁSTICO	65
5.2.1. AMOSTRA CP12	65
5.2.1.1. A_T , A_{obj} e α_S	65
5.2.1.2. NRC e α_w	67
5.2.2. AMOSTRA TPF24.....	68
5.2.2.1. A_T , A_{obj} e α_S	68
5.2.2.2. NRC e α_w	70
5.3. SÍNTESE DE RESULTADOS	71
5.3.1. A_T , A_{obj} e α_S	71
5.3.2. NRC e α_w	85

5.4. COMPARAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA DOS SUPORTES ALVEOLARES COM OUTROS MATERIAIS.....	87
6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO TEÓRICA E COMENTÁRIOS DE “BOA APLICAÇÃO” DE SUPORTES ALVEOLARES COMO ABSORVENTE	89
6.1. EXEMPLO DE APLICAÇÃO TEÓRICA	89
6.2. COMENTÁRIOS DE “BOA APLICAÇÃO” DE SUPORTES ALVEOLARES COMO ABSORVENTE	93
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	95
7.1. CONCLUSÕES.....	95
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Propagação do som [1].	3
Fig. 2.2 – Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade sonora (I) [2].	4
Fig. 2.3 – Sensibilidade do ouvido humano	5
Fig. 2.4 – Pressão sonora (p) e níveis de pressão sonora (L_p) [2].	5
Fig. 2.5 – Gama de frequências audíveis pelo ser humano	7
Fig. 2.6 – Valores numéricos das bandas de frequências de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível [adaptado de 2].	7
Fig. 2.7 – Esquema de funcionamento de tubo de ondas estacionárias [2].	9
Fig. 2.8 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [2].	10
Fig. 2.9 – Incidência de uma onda sonora num material poroso, onde ocorrem sucessivas reflexões até a energia se dissipar [7].	11
Fig. 2.10 - Agrupamento dos materiais porosos [adaptado de 2].	11
Fig. 2.11 e 2.12 – Esquema básico de ressoadores (esq.) e membranas (dir.) [2].	12
Fig. 2.13 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito de inclusão de material absorvente sonoro na caixa de ar (linha a tracejado) [2].	12
Fig. 2.14 – Tempos de reverberação ideais em função do uso [8].	14
Fig. 2.15 e 2.16 – Exemplo de difusores comerciais: <i>Quadratic Residue Diffuser</i> , QRD (esq.) [9] e <i>Art Diffusor</i> (dir.) [10].	15
Fig. 3.1, 3.2 e 3.3 – Exemplos de suportes alveolares: tabuleiro para ovos (esq.), caixa para ovos (centro) e tabuleiro para fruta (dir.) [fotos da autora].	17
Fig. 3.4 – Exemplos de caixas de ovos existentes no mercado.	18
Fig. 3.5, 3.6 e 3.7 – Exemplo de caixas de celulose moldada para 12 ovos (esq. e centro) e 10 ovos (dir.) com tampa com aberturas [11].	18
Fig. 3.8, 3.9 e 3.10 – Exemplo de caixas de celulose moldada para 12 ovos (esq. e centro) e 10 ovos (dir.) com tampa plana (dir.) [12].	18
Fig. 3.11 e 3.12– Exemplo de caixas <i>Soul</i> de celulose moldada para 12 ovos [13].	19
Fig. 3.13 – Exemplo de caixas de plástico para 12 ovos [foto da autora].	19
Fig. 3.14 – Exemplos de tabuleiros de ovos existentes no mercado.	19
Fig. 3.15 – Exemplo de tabuleiro de celulose moldada para 20 ovos [foto da autora].	19
Fig. 3.16, 3.17 e 3.18 – Exemplo de tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos [fotos da autora].	20
Fig. 3.19 – Exemplos de tabuleiros de fruta existentes no mercado [14 e 15].	20
Fig. 3.20 e 3.21 – Exemplo de tabuleiro de celulose moldada com 28 cavidades [14] e de plástico (polipropileno) com 24 cavidades [foto da autora].	21

Fig. 3.22 e 3.23 – Sala de ensaio da Sociedade Filarmónica Santa Cruz de Alvarenga (Arouca), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [fotos disponibilizadas pela coletividade].	21
Fig. 3.24 – Sala de ensaio da Banda Musical de Figueiredo (Arouca) em fase de reabilitação, onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [foto disponibilizada pela coletividade].	21
Fig. 3.25 – Sala de ensaio da Sociedade Filarmónica Fraternidade de São João de Areias (Santa Comba Dão), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [16].	22
Fig. 3.26 – Cenário da serie <i>I love It</i> da TVI que afigura um estúdio revestido de embalagens de ovos [17].	22
Fig. 3.27 – Rádio Comunitária Voz de Quelele (Guiné-Bissau) [18].	22
Fig. 3.28 – Exemplo de estúdio (Portugal) [19].	23
Fig. 3.29 – Sala de ensaio dos <i>Ugly Smile</i> (banda de rock de Arouca), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [20].	23
Fig. 3.30 – Resultados do estudo da empresa <i>Acoustics First Corporation</i> , onde se pode comparar os coeficientes de absorção das caixas dos ovos (obtidos no <i>Riverbank Acoustical Laboratories</i>) com espuma acústica (Fig. 3.31) com 50,8 mm de espessura [21].	24
Fig. 3.31 – Espuma acústica com 50,8 mm de espessura da empresa <i>Acoustics First Corporation</i> usada na Fig. 3.30 [21].	24
Fig. 4.1 – Comparação entre as áreas máximas de absorção sonora equivalente (A) permitidos e as áreas de absorção sonora equivalente (A_1) da câmara reverberante R1 vazia.	29
Fig. 4.2 – Suportes alveolares de papel analisados neste trabalho.	33
Fig. 4.3 – Suportes alveolares de plástico analisados neste trabalho.	33
Fig. 4.4 e 4.5 – T20A - Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas) quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	34
Fig. 4.6 e 4.7– T30A - Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas) quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	34
Fig. 4.8 e 4.9 – T30 - Tabuleiro para 30 ovos quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	35
Fig. 4.10 e 4.11 – C12A-a - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) aberta quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	35
Fig. 4.12 e 4.13 – C12A-f - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) fechada quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	35
Fig. 4.14 e 4.15– C12-a - Caixa para 12 ovos aberta quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	36
Fig. 4.16 e 4.17 – C12-f - Caixa para 12 ovos fechada quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	36
Fig. 4.18 e 4.19 – TF39 - Tabuleiro da Fruta com 39 cavidades quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	36

Fig. 4.20 e 4.21 – T30A-n-ESP -Tabuleiro para 30 ovos com pequenas Aberturas (superfície normal voltada para cima) sobre placas de Espuma <i>Aglomex</i> de 30 mm de espessura [fotos da autora].	37
Fig. 4.22 e 4.23 – C12A-a-n-ST - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) Sem Tampa quando se encontra com a superfície normal voltada para cima (superfície normal sobre a tampa) [fotos da autora].	37
Fig. 4.24 e 4.25 – CP12-a - Caixa de Plástico para 12 ovos com a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) voltadas para cima [fotos da autora].	40
Fig. 4.26 e 4.27– TPF24 - Tabuleiro Plástico de Fruta com 24 cavidades com a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) voltadas para cima [fotos da autora].	41
Fig. 5.1 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	43
Fig. 5.2 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	45
Fig. 5.3 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	47
Fig. 5.4 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) sobre as placas de espuma <i>aglomex</i> (“ESP”) de 30 mm e os resultados obtidos apenas com estas placas.	48
Fig. 5.5 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) e à amostra T30A sobre as placas de espuma <i>aglomex</i> (“ESP”) de 30 mm.	49
Fig. 5.6 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) e à amostra T30A sobre as placas de espuma <i>aglomex</i> (“ESP”) de 30 mm.	49
Fig. 5.7 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	52
Fig. 5.8 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	52
Fig. 5.9 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e expostas pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	56
Fig. 5.10 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	56

Fig. 5.11 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).	57
Fig. 5.12 – Pormenor da caixa de 12 ovos fechada (C12A-f) quando a superfície normal com pequenas aberturas estão voltadas para cima [foto da autora].	57
Fig. 5.13 e 5.14 – Pormenor da montagem das caixa de 12 ovos fechada (C12A-f) quando a superfície normal com pequenas aberturas (dit.) e a superfície inversa (esq.) estão voltadas para cima [fotos da autora].	57
Fig. 5.15 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	59
Fig. 5.16 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).	61
Fig. 5.17 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).	62
Fig. 5.18 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	63
Fig. 5.19 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	65
Fig. 5.20 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	66
Fig. 5.21 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	67
Fig. 5.22 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (amostra constituída por tabuleiros fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	69
Fig. 5.23 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposto nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	70
Fig. 5.24 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados aos tabuleiros para ovos e fruta (T – Tabuleiro, A – com pequenas Aberturas, n – superfície normal, i – superfície inversa, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).	72

Fig. 5.25 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados aos tabuleiros para ovos e fruta (T – Tabuleiro, A – com pequenas Aberturas, n – superfície normal, i – superfície inversa, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , F – Fruta, P – Plástico).....	73
Fig. 5.26 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados às caixas para ovos e fruta (C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).	75
Fig. 5.27 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados às caixas para ovos e fruta (C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).....	76
Fig. 5.28 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).	78
Fig. 5.29 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta).	79
Fig. 5.30 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, F – Fruta, P - plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).....	80
Fig. 5.31 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, F – Fruta, P - plástico).....	81
Fig. 5.32 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes)....	83
Fig. 5.33 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares e os resultados do ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).....	84
Fig. 5.34 – NRC de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).....	86
Fig. 5.35 – α_w de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).....	86
Fig. 5.36 – Coeficientes de absorção sonora das amostras T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa), C12A-f (caixas para 12 ovos (com	

pequenas aberturas) fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície normal (“-n”) e pela superfície inversa (“-i”), C12-f-n (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície normal), TPF24-i (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades expostos ao som pela superfície inversa) e TF39-n (tabuleiros de fruta com 39 cavidades de celulose moldada expostos ao som pela superfície normal) e do aglomerado composto de cortiça (3 mm) [2] e *K13-standard* (25 mm) [25].88

Fig. 6.1 – Dimensões da garagem.....89

Fig. 6.2 – Tempo de reverberação, para cada frequência, sem nenhuma aplicação e aplicando em três paredes e teto a amostra T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada exposto ao som pela superfície inversa), C12A-f-i (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície inversa) e o *K13-standard* (25 mm) e aglomerado composto de cortiça (3 mm). .91

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Absorção sonora do ar (m^{-1}) em função da humidade relativa (o <i>default</i> deverá ser 60%) [2].	13
Quadro 3.1 – Resultados da empresa <i>Acoustics First Corporation</i> relativamente ao ensaio de determinação dos coeficientes de absorção sonora de caixas de ovos (obtidos no <i>Riverbank Acoustical Laboratories</i>) [22].	25
Quadro 4.1 – Área de absorção sonora equivalente máxima para câmaras com um volume $V=200 \text{ m}^3$ (normativo) [4] e R1 da FEUP com um volume de $V=208 \text{ m}^3$.	28
Quadro 4.2 – Tipos de suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, a – aberta, f – fechada).	34
Quadro 4.3 – Características de cada tipo de suporte alveolar de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, a – aberta, f – fechada).	37
Quadro 4.4 – Descrição dos ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, F – Fruta, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , ST – Sem Tampa, a – aberta, f – fechada, i – superfície inversa, n – superfície normal).	38
Quadro 4.5 – Características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de papel que foram ensaiadas e as condições em que cada ensaio foi realizado (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, F – Fruta, ESP – placas de Espuma <i>Aglomex</i> , ST – Sem Tampa, a – aberta, f – fechada, i – superfície inversa, n – superfície normal).	39
Quadro 4.6 – Tipos de suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta).	40
Quadro 4.7 – Características de cada tipo de suporte alveolar de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta).	41
Quadro 4.8 – Descrição dos ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta, n – superfície normal, i – superfície inversa).	41
Quadro 4.9 – Características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de plástico que foram ensaiadas e as condições que cada ensaio foi realizado (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta, n – superfície normal, i – superfície inversa).	41
Quadro 5.1 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	44
Quadro 5.2 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	45
Quadro 5.3 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A	

(tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	46
Quadro 5.4 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) sobre as placas de espuma <i>aglomex</i> (“ESP”) de 30 mm e dos resultados obtidos apenas com estas placas.	48
Quadro 5.5 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), da amostra T30A sobre as placas de espuma <i>aglomex</i> de 30 mm e do <i>aglomex</i> isolado.	50
Quadro 5.6 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	51
Quadro 5.7 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	53
Quadro 5.8 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	53
Quadro 5.9 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	54
Quadro 5.10 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	55
Quadro 5.11 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).	59
Quadro 5.12 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T) e área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).	60
Quadro 5.13 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).	61

Quadro 5.14 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).	63
Quadro 5.15 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	64
Quadro 5.16 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	65
Quadro 5.17 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T) e área de absorção equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	66
Quadro 5.18 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	67
Quadro 5.19 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	68
Quadro 5.20 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	68
Quadro 5.21 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	69
Quadro 5.22 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta, com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).	70
Quadro 5.23 – Principais conclusões retiradas (em cada tipo de situação comparável, linha a linha) quando comparadas todas as amostras ensaiadas (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma <i>aglomex</i> , f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa).	82
Quadro 5.24 – NRC e α_w de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).	85
Quadro 5.25 – Classificação em função de α_w de todas as amostras usadas neste trabalho (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).	87
Quadro 6.1 – Coeficientes de absorção sonora (α) do revestimento das paredes (situação inicial), teto (situação inicial) e pavimento e da porta [24] e da absorção sonora do ar para uma humidade relativa de 60 % [2], incluindo as respetivas áreas ou volumes antes da alteração.	89

Quadro 6.2 – Coeficientes de absorção sonora (α) do revestimento das paredes, teto e pavimento e da porta [24], absorção sonora do ar para uma humidade relativa de 60% [2], coeficientes de absorção sonora (α_s) das amostras T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa) e C12A-f-i (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície inversa), do material <i>K13-standard</i> (25 mm) [25] e do aglomerado composto de cortiça (3 mm) [2], incluindo as respetivas áreas ou volumes após aplicação.	90
Quadro 6.3 – Tempo de reverberação TR_0 (situação inicial), TR_1 (aplicado em três paredes e teto a amostra T30-i [tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa]), TR_2 (aplicado em três paredes e teto a amostra C12A-f-i [caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas pela superfície inversa]), TR_3 (aplicado em três paredes e teto o <i>K13-standard</i> com 25 mm de espessura) e TR_4 (aplicado em três paredes e teto o aglomerado composto de cortiça (ACC) com 3 mm de espessura) para cada frequência.....	91
Quadro 6.4 – Custos por metro quadrado das amostras T30-i e C12A-f-i e do material <i>K13-standard</i> com 25 mm de espessura e custos totais aplicando os diferentes materiais às três paredes e teto da garagem.	92
Quadro 6.5 – Custos por metro quadrado das amostras T30-i e C12A-f-i e do material <i>K13-standard</i> com 25 mm de espessura e custos totais aplicando os diferentes materiais às três paredes e teto da garagem.	93
Quadro 7.1 – Coeficientes de absorção sonora (α_s) e índices NRC e α_w de todas as amostras ensaiadas (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma <i>aglomex</i> , a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).	97

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

A_1 – Área de absorção equivalente da câmara reverberante vazia (m^2)

A_2 – Área de absorção equivalente da câmara reverberante com a amostra de ensaio (m^2)

A_j – Absorção sonora localizada (m^2)

A_{obj} – Área de absorção sonora equivalente de cada objeto (m^2)

A_T – Área de absorção sonora equivalente total da amostra (m^2)

B&K – *Brüel & Kjaer*

c – Celeridade ou velocidade de propagação das ondas sonoras do ar (m/s)

C – Comprimento (m)

C12A-a-i – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos, com pequenas aberturas, aberta exposta pela superfície inversa

C12A-a-n – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos, com pequenas aberturas, aberta exposta pela superfície normal

C12A-a-n-ST – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos, com pequenas aberturas, aberta exposta pela superfície normal sem a tampa

C12A-f-i – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos, com pequenas aberturas, fechada exposta pela superfície inversa

C12A-f-n – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos, com pequenas aberturas, fechada exposta pela superfície normal

C12-a-i – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos aberta exposta pela superfície inversa

C12-a-n – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos aberta exposta pela superfície normal

C12-f-n – Caixa (de celulose moldada) para 12 ovos fechada exposta pela superfície normal

CP12-a-i – Caixa de plástico para 12 ovos aberta exposta pela superfície inversa

CP12-a-n – Caixa de plástico para 12 ovos aberta exposta pela superfície normal

EN – *European Normalization*

f – Frequência (Hz)

HR – Humidade relativa (%)

I – Intensidade sonora (W/m^2)

I_0 – Intensidade sonora de referência ($10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$)

L – Largura (m)

L_{eq} – Nível de pressão sonora equivalente (dB)

L_I – Nível de intensidade sonora (dB)

$l_{m\acute{a}x}$ – Comprimento da maior linha reta contida nos limites da câmara reverberante

L_N – Nível de pressão sonora estatístico (dB)

L_p ou L – Nível de pressão sonora (dB)

L_W – Nível de potência sonora (dB)

m – Absorção sonora do ar (m^{-1})

NP – Norma Portuguesa

NRC – Noise Reduction Coefficient

p – Pressão sonora (Pa)

p_0 – Pressão de referência (2×10^{-5} Pa)

p_{ef} – Pressão eficaz ou pressão *RMS* (*root mean square*) (Pa)

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

r – Distância (m)

S – Área (m^2)

SWR – Standing Wave Ratio

T – Temperatura do Ar (K)

T ou TR – Tempo de Reverberação (s)

T20A-i – Tabuleiro (de celulose moldada) para 20 ovos, com pequenas aberturas, exposto pela superfície inversa

T20A-n – Tabuleiro (de celulose moldada) para 20 ovos, com pequenas aberturas, exposto pela superfície normal

T30A-i – Tabuleiro (de celulose moldada) para 30 ovos, com pequenas aberturas, exposto pela superfície inversa

T30A-n – Tabuleiro (de celulose moldada) para 30 ovos, com pequenas aberturas, exposto pela superfície normal

T30A-n-ESP – Tabuleiro (de celulose moldada) para 30 ovos com pequenas aberturas, exposto pela superfície normal, sobre placas de espuma *aglomex* de 30 mm

T30-i – Tabuleiro (de celulose moldada) para 30 ovos exposto pela superfície inversa

T30-n – Tabuleiro (de celulose moldada) para 30 ovos exposto pela superfície normal

TF39-i – Tabuleiro (de celulose moldada) para fruta com 39 cavidades exposto pela superfície inversa

TF39-n – Tabuleiro (de celulose moldada) para fruta com 39 cavidades exposto pela superfície normal

TPF24-i – Tabuleiro de plástico para fruta com 24 cavidades exposto pela superfície inversa

TPF24-n – Tabuleiro de plástico para fruta com 24 cavidades exposto pela superfície normal

$TR_{médio}$ – Tempo de Reverberação médio nas frequências 500, 1k e 2k Hz (s)

V – Volume (m^3)

W – Potência sonora (W)

W_0 – Potência sonora de referência (10^{-12} W)

α – Coeficiente de absorção sonora

α_S – Coeficiente de absorção sonora determinado em ensaio (S – Sabine)

α_W – Coeficiente de absorção sonora ponderada

ΔA_T – variação do coeficiente da área de absorção sonora equivalente total entre superfície inversa e normal

θ – Temperatura do ar (°C)

ρ – Massa volúmica do ar (kg/m^3)

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

A acústica é uma ciência complexa e que pode ser dividida em várias áreas tais como a acústica de exteriores, de edifícios, arquitetónica e muitas outras. Portanto, a acústica está presente em praticamente tudo no dia-a-dia de cada pessoa e assume na sociedade uma função cada vez maior e com maior relevância.

Neste trabalho analisam-se conceitos da acústica de edifícios e da acústica arquitetónica. A acústica de edifícios estuda dois grandes temas: *correção acústica* e o *isolamento sonoro*. Estes dois temas são muito diferentes, isto porque a correção acústica tem como objetivo tornar um espaço acusticamente melhor enquanto que o isolamento sonoro tem como objetivo isolar um espaço de sons provenientes do exterior ou isolar um espaço para que o som aí emitido não seja ouvido no exterior. Logo, o trabalho em análise está relacionado com a correção acústica e não com o isolamento sonoro. Em relação à acústica arquitetónica, a tese aborda um dos seus conceitos base que é a difusão. Esta analisa as reflexões de uma superfície devido a irregularidades com algum relevo.

Grandes espaços direcionados para toda a sociedade como teatros, auditórios, salas de concerto, já são projetados e construídos tendo em atenção a acústica do espaço, sendo usadas soluções e materiais acústicos com qualidade mas que também têm um preço significativo. Contudo, locais que são específicos para desempenhar funções internas, como salas de ensaio de bandas filarmónicas, salas de ensaio de “bandas de garagem” e estúdios de gravação em que o poder económico é baixo, não têm projetos nem são construídos tendo atenção os elementos acústicos para melhorar o espaço para o fim a que se destinam. Portanto, quando se pretende melhor acusticamente esses espaços, ou seja reduzir o tempo de reverberação, os seus responsáveis recorrem a soluções e a materiais económicos de fácil aplicação. Hoje em dia, o material que é usado são as embalagens dos ovos.

Portanto, o objetivo da presente tese é saber qual o desempenho acústico dos suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares como material absorvente e comentar como se devem utilizar para que se possa beneficiar de toda a sua absorção sonora.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

A presente tese está organizada por sete capítulos, dos quais são abordados os seguintes temas:

- *Capítulo 1* – introdução da tese explicando qual a importância e os objetivos pretendidos e como a tese se encontra estruturada;

- *Capítulo 2* – descrição teórica das principais noções gerais da acústica e dos conceitos acústicos específicos utilizados na tese;
- *Capítulo 3* – apresentação das utilizações dos suportes alveolares como elemento acústico e abordagem de estudo anterior sobre o mesmo tema;
- *Capítulo 4* – descrição dos ensaios e dos suportes alveolares utilizados na tese;
- *Capítulo 5* – apresentação dos resultados de todas as amostras, obtidos nos ensaios em câmara reverberante;
- *Capítulo 6* – apresentação de uma aplicação teórica numa garagem e comentários de “boa aplicação” dos suportes alveolares.
- *Capítulo 7* – apresentação de todas as conclusões do trabalho, incluindo possíveis considerações para o desenvolvimento futuro do tema.

2

CONCEITOS ACÚSTICOS

2.1. NOÇÕES GERAIS

2.1.1. PRESSÃO

A Acústica é um ramo da Física que estuda o som e/ou o ruído. O som é agradável ou tem significado para o ouvinte, enquanto que o ruído é desagradável ou não tem qualquer significado, portanto o que para alguns ouvintes pode ser um som para outros pode ser um ruído.

O som propaga-se através da vibração de um meio elástico sólido, líquido ou gasoso. Quando o meio de transmissão é o ar, o som é causado pela variação de pressão e propaga-se através da colisão entre as partículas do meio até ao ouvido humano. Essa propagação pode ser representada através de ondas sonoras com zonas de compressão e rarefação (Fig. 2.1). Mediante esse facto, o elemento com mais importância a ser medido é a pressão sonora (representa a variação de pressão) tendo sempre como base a pressão atmosférica, que tem um valor aproximado de 101.400 pascal (Pa). [2]

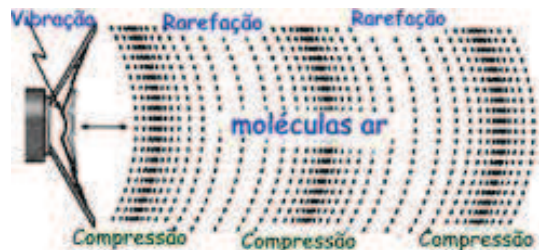


Fig. 2.1 – Propagação do som [1].

A lei de propagação das ondas de pressão sonora (num meio homogéneo, isotrópico, sem viscosidade e em repouso) pode ser deduzida, matematicamente, através da conjugação da lei das transformações adiabáticas, o segundo princípio fundamental da mecânica e o princípio da continuidade, obtendo-se a expressão (2.1).

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Onde c é a celeridade ou velocidade de propagação das ondas sonoras no ar e esta varia com a temperatura do ar, θ , conforme as expressão (2.2) (válida para o ar seco e ao nível do mar).

$$c = 20,045\sqrt{T} \quad [\text{m/s}] \quad (2.2)$$

Em que,

$$T = 273,15 + \theta(^{\circ}C) \quad [\text{K}] \quad (2.3)$$

Para além da pressão, existem outros parâmetros que têm importância para analisar a propagação das ondas sonoras, tais como a intensidade sonora e a potência sonora (Fig. 2.2).

A intensidade sonora (I) é, numa dada direção, a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1 m^2 , normal a essa direção e quantifica-se em W/m^2 . Esta grandeza é, portanto, uma grandeza vetorial e pode-se falar em campo de intensidade sonora como um campo vetorial. [2]

A potência sonora (W) representa a energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte e quantifica-se em W . Portanto a potência sonora é uma característica da fonte e não do estímulo causado por essa fonte num dado ponto ou direção como é o caso da pressão e da intensidade. [2]

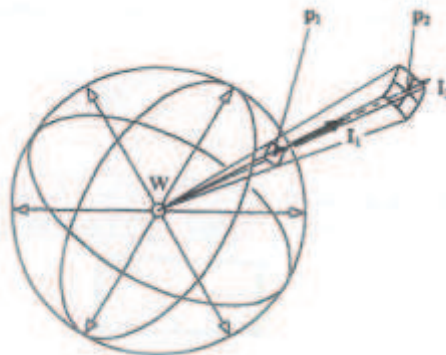


Fig. 2.2 – Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade sonora (I) [2].

A pressão sonora, intensidade sonora e potência sonora estão relacionados entre si matematicamente da seguinte forma:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.4)$$

Sendo,

- I – intensidade sonora (W/m^2);
- W – potência sonora (W);
- r – distância (m);
- p – pressão sonora (Pa);
- ρ – massa volúmica (ar) $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$;
- c – celeridade (m/s) $\approx 340 \text{ m/s}$.

Em relação à variação de pressão, o ser humano jovem com audição normal pode ouvir valores, no mínimo, com cerca de 10^{-5} Pa e, no máximo, com cerca de 100 Pa, a que se dá o nome de *limiar da audição* e *limiar da dor*, respetivamente. Assim, a gama de audibilidade humana no domínio da pressão situa-se em 10^7 (Fig. 2.3). [2]



Fig. 2.3 – Sensibilidade do ouvido humano

Como o ouvido responde aos estímulos de forma aproximadamente logarítmica e como a medição de pressões através do *pascal* “teria valores muito diferentes”, então a melhor solução é utilizar níveis de pressão sonora em que a unidade usada é o *decibel* (dB) em vez de se utilizarem pressões sonoras em *pascal* (Pa) (Fig. 2.4). Logo, podem-se converter pressões sonoras (p) em níveis de pressão sonora (L_p) através das expressões ((2.5) e (2.6) (matematicamente iguais), em que a pressão de referência (p_0) tem um valor de 2×10^{-5} Pa.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (2.5)$$

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad [\text{dB}] \quad (2.6)$$

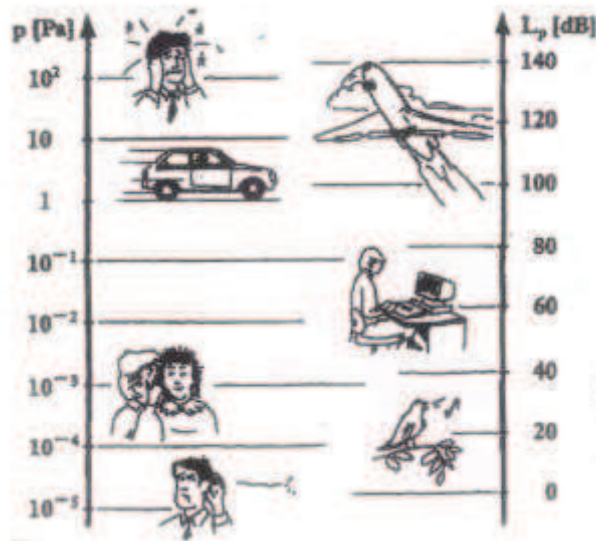


Fig. 2.4 – Pressão sonora (p) e níveis de pressão sonora (L_p) [2].

Da mesma analogia anterior, pode-se também converter intensidades sonoras (I) em níveis de intensidade sonora (L_I) através da expressão (2.7), sendo intensidade sonora de referência (I_0) igual a 10^{-12} W/m² e converter potências sonoras (W) em níveis de potência sonora (L_W) através da expressão (2.8), com potência sonora de referência (W_0) igual a 10^{-12} W.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (2.7)$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}] \quad (2.8)$$

Não se pode somar nem subtrair algebricamente níveis de pressão sonora, devido à conversão para a unidade *decibel*. Logo, a soma ou subtração de níveis de pressão sonora é feita através das expressões (2.9) e (2.10), que são matematicamente iguais.

$$L_{soma} = 10 \log \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_2^2}{p_0^2} + \dots + \frac{p_N^2}{p_0^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad (2.9)$$

$$L_{soma} = 10 \log \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \quad [\text{dB}] \quad (2.10)$$

Pelas expressões (2.9) e (2.10), sabe-se que ao somar dois sons com o mesmo nível de pressão sonora resulta a seguinte expressão:

$$L_{soma} (L_i + L_i) = 3 + L_i \quad [\text{dB}] \quad (2.11)$$

Também é importante salientar que, por exemplo, ao somar dois níveis de pressão sonora com uma diferença de 10 dB o resultado da soma é, aproximadamente, igual ao nível de pressão sonora mais alto. Logo, se num espaço tiver vários equipamentos (com diferentes níveis de pressão sonora) a funcionar ao mesmo tempo, não adianta desligar apenas um dos equipamentos porque não se vai resolver o problema, a não ser que seja o equipamento com o nível de pressão sonora mais elevado.

A pressão é uma grandeza que tem variações temporais significativas e o valor que os sonómetros medem e que realmente interessa avaliar é denominada *pressão eficaz* ou *pressão RMS* (*root mean square*), dada pela expressão (2.12).

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad [\text{Pa}^2] \quad (2.12)$$

É também importante salientar, que as fontes sonoras, geralmente, não são omnidireccionais, ou seja, não emitem a mesma energia em todas as direções (como uma esfera de radiação perfeita). [2]

2.1.2. FREQUÊNCIA

A frequência é a segunda grandeza mais importante para se descrever um sinal sonoro, isto porque geralmente os sons e ruídos são diferenciados através das suas frequências.

A frequência (f) representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo (número de ciclos completos por segundo) e é medida em *hertz* (Hz). [2]

Os sons e/ou ruídos podem ser distinguidos através de três zonas de frequências:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1.410 Hz;
- Frequências agudas: 1.410 a 20.000 Hz.

Por exemplo, a tuba (instrumento musical) emite essencialmente frequências graves, ou seja, tem um som grave, enquanto que um flautim (instrumento musical) emite predominantemente frequências agudas, logo tem um som agudo.

Tal como a pressão, a frequência audível pelo ser humano jovem com audição normal também é limitada. O ser humano jovem com audição normal ouve, aproximadamente, entre 20 Hz e 20 kHz, em que valores abaixo do intervalo são designados de *infra-sons* e os valores superiores ao intervalo são designados de *ultra-sons* (Fig. 2.5).

As frequências são agrupadas em diversas bandas de várias larguras, mas geralmente usa-se as bandas de larguras de 1/1 oitava e 1/3 de oitava (Fig. 2.6).

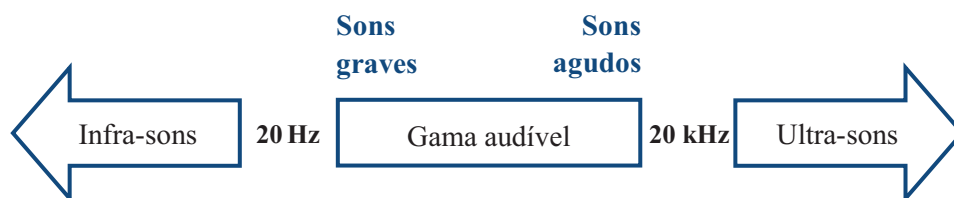


Fig. 2.5 – Gama de frequências audíveis pelo ser humano

Bandas de frequência			
1/3 oitava	1/1 oitava	1/3 oitava	1/1 oitava
25 31 40	31	800 1.000 1.250	1.000
50 63 80	63	1.600 2.000 2.500	2.000
100 125 160	125	3.150 4.000 5.000	4.000
200 250 315	250	6.300 8.000 10.000	8.000
400 500 630	500	12.500 16.000 20.000	16.000

Fig. 2.6 – Valores numéricos das bandas de frequências de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível [adaptado de 2].

2.1.3. TEMPO

O tempo é um fator também importante na análise das andas sonoras. Os dois parâmetros de medida do ruído mais usados no domínio desde fator são os níveis de pressão sonora estatísticos (L_N) e o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}).

O nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}) é a média num intervalo de tempo de medição de T e é dado pela expressão 2.20 [2].

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \left(t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right] \quad [\text{dB}] \quad (2.13)$$

O nível de pressão sonora estatísticos (L_N) é o valor do nível que é excedido em N% do intervalo de tempo de medição. Os níveis de pressão sonora estatísticos mais usados são L_{50} (mediana) e L_{95} .

2.2. ABSORÇÃO SONORA

2.2.1. GENERALIDADES

Absorção sonora é a característica que alguns dos materiais têm na qual transformam a energia sonora que lhes incide em outra energia.

O coeficiente que representa o quociente entre a energia sonora absorvida por um dado material com a energia sonora que lhe incide, denomina-se como *coeficiente de absorção sonora* (α). Este coeficiente pode variar entre zero e um, portanto um material com coeficiente de absorção igual a um absorve toda a energia sonora que lhe incide, enquanto que se tiver um coeficiente de absorção nulo, ele reflete toda a energia sonora que lhe incide. Portanto, por exemplo, mármore polido tem um coeficiente muito mais baixo (próximo de zero) do que a cortiça (material poroso).

Um material só é designado como material absorvente se o seu coeficiente de absorção for superior a 0,5.

O coeficiente de absorção sonora de qualquer material depende do ângulo de incidência e da frequência que o som é emitido.

O coeficiente de absorção pode ser obtido através de dois métodos, que são:

- Tubo de ondas estacionárias;
- Método da câmara reverberante.

O tubo de ondas estacionárias que também é designado por tubo de *Kundt* consiste num longo tubo metálico (0,10 m de diâmetro) onde numa extremidade é colocada a amostra a estudar (circular com 5 cm de raio) e na outra extremidade existe um pequeno altifalante com um orifício, perfurado no meio do seu magneto, para fazer passar uma pequena vareta metálica ligada a um microfone que desliza sobre rodas num recipiente. O altifalante ao ser ligado, cria ondas estacionárias devidas à interação da onda incidente com a onda refletida na amostra (Fig. 2.7). Este processo é descrito pela norma ISO 10534-1 [3], na qual se obtém o coeficiente de absorção através da expressão (2.14) [2].

$$\alpha = 1 - [(SWR - 1)/(SWR + 1)]^2 \quad (2.14)$$

Onde SWR (*standing wave ratio*) é calculado através da expressão (2.15).

$$SWR = \frac{|P_{máx}|}{|P_{mín}|} \quad (2.15)$$

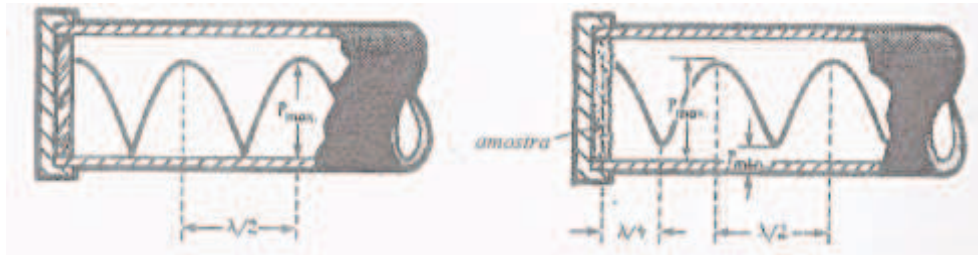


Fig. 2.7 – Esquema de funcionamento de tubo de ondas estacionárias [2].

Este método não é muito adequado porque o coeficiente de absorção refere-se apenas a uma incidência perpendicular, enquanto que na câmara reverberante o som emitido atinge a amostra de todos os ângulos (campo difuso) estando assim mais de acordo com a realidade [2].

Relativamente à câmara reverberante, esta é uma sala grande na qual todas as suas superfícies são refletoras (α praticamente nulo). A amostra do material a ser estudado tem de ter uma área entre 10 a 12 m², sendo esta colocada no pavimento da sala e é medido o tempo de reverberação. Comparando os tempos de reverberação com a câmara vazia e com a amostra, pode-se obter os coeficientes de absorção da amostra (α_s). Este processo é descrito pela norma NP EN ISO 354 [4] e os resultados obtidos são muito mais próximos da realidade do que o método do tubo de ondas estacionárias, devido ao facto do campo sonoro ser difuso.

Existem dois índices únicos que normalmente surgem quando se fala em absorção sonora, que são:

- NRC (*noise reduction coefficient*);
- α_w .

O NRC define-se (cf. norma ASTM C423 [5]) como a média aritmética dos valores de α nas bandas de oitava dos 250 aos 2000 Hz (e apresenta-se arredondado para o múltiplo mais próximo de 0,05) [2].

Em relação ao parâmetro α_w , este é obtido (cf. norma EN ISO 11654 [6]) pelo ajuste ponderado duma curva de referência usando as bandas de oitava 250 aos 4000 Hz. Então, o procedimento para determinar o parâmetro α_w é obtido pelos seguintes passos [2]:

- Traça-se a curva dos valores de α por banda;
- Determina-se os desvios positivos entre uma curva de referência móvel (ex. de ordenada: 0,80/1,00/1,00/1,00/0,90) e a curva dos valores de α ;
- O valor de α_w (múltiplo de 0,05) é o valor lido na banda de frequência dos 500 Hz na curva ajustada quando a soma dos desvios positivos seja a mais próxima de 0,10 sem ultrapassar;
- Por último, quando o maior desvio negativo entre a curva de referência e a curva dos valores de α é maior que 0,25 então tem de se acrescentar uma letra “indicadora de forma” entre parêntesis (L-M-H consoante acontecer nos 250-500/1k-2k/4k Hz).

A norma EN ISO 11654 [6] também refere a atribuição de classes de absorção sonora [2]:

- $A - \alpha_w \geq 0,90$;
- $B - 0,80 \leq \alpha_w \leq 0,85$;
- $C - 0,60 \leq \alpha_w \leq 0,75$;
- $D - 0,30 \leq \alpha_w \leq 0,55$;
- $E - 0,15 \leq \alpha_w \leq 0,25$;
- *Não classificado* $-\alpha_w \leq 0,10$.

2.2.2. MATERIAIS ABSORVENTES SONOROS

Os materiais e sistemas absorventes sonoros são agrupados em três categoriais diferentes devido a atuarem em gamas de frequência distintas (Fig. 2.8):

- *Materiais porosos e fibrosos*;
- *Ressoadores*;
- *Membranas*.

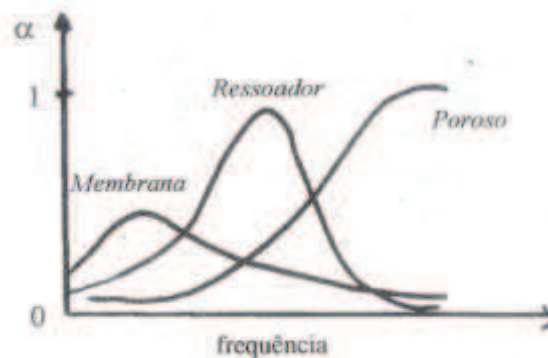


Fig. 2.8 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [2].

Os *materiais porosos e fibrosos* atuam preferencialmente nas altas frequências e são característicos por terem poros e interstícios. Os materiais fibrosos ao receberem o som, as fibras movimentam-se juntamente com as partículas de ar e ao absorverem a energia sonora transformam-na em calor. Porém, as fibras não devem estar muito afastadas nem muito concentradas se não o material não tem a eficiência pretendida.

Relativamente aos materiais porosos, as ondas sonoras ao incidir-lhes penetram os poros e são refletidas até que a energia se dissipe (Fig. 2.9).

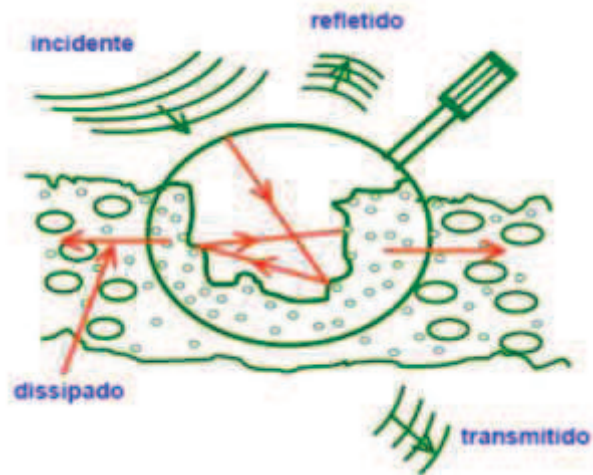


Fig. 2.9 – Incidência de uma onda sonora num material poroso, onde ocorrem sucessivas reflexões até a energia se dissipar [7].

Os materiais porosos e fibrosos podem agrupar-se de acordo com a Fig. 2.10.

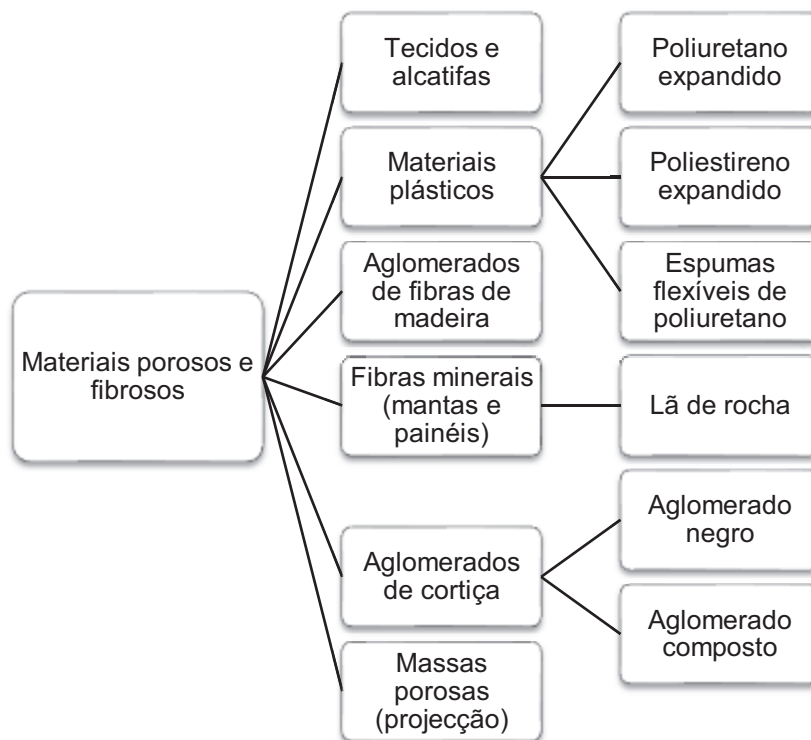


Fig. 2.10 - Agrupamento dos materiais porosos [adaptado de 2].

Os *ressoadores de cavidade* ou *ressoadores de Helmholtz* são sistemas com maior eficiência de absorção sonora nas frequências médias e são característicos por terem uma cavidade com apenas uma pequena abertura (Fig. 2.11). Os ressoadores, ao receberem as ondas sonoras, o ar existente na abertura vibra e entra e sai dessa abertura, fazendo com que a energia seja dissipada e o som seja absorvido.

Geralmente, são usados, ressoadores agrupados (por exemplo em painéis perfurados metálicos ou de madeira para tetos falsos) e quando se pretende alargar a zona onde estes sistemas são eficientes coloca-se um material absorvente na caixa-de-ar (Fig. 2.13) embora se perca em amplitude a absorção [2].



Fig. 2.11 e 2.12 – Esquema básico de ressoadores (esq.) e membranas (dir.) [2].

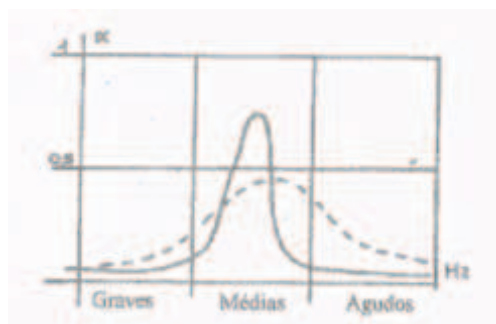


Fig. 2.13 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito de inclusão de material absorvente sonoro na caixa de ar (linha a tracejado) [2].

Por último, as *membranas* são sistemas com maior eficiência de absorção sonora nas frequências baixas e estas são constituídas por uma fina placa separada da base de suporte através de apoios (Fig. 2.12). Estes sistemas absorvem o som devido à vibração da estrutura e também devido às perdas de calor por fricção nas suas fibras quando o material entra em flexão [2].

2.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O som pode chegar ao recetor de duas origens: *direta* ou *refletida*. O som direto é o som emitido pela fonte sonora que chega ao recetor por linha reta, enquanto que o som refletido chega ao recetor após uma ou múltiplas reflexões, nas superfícies envolventes.

O *tempo de reverberação* é o intervalo de tempo (medido em segundos) que qualquer som demora a extinguir-se por completo, após múltiplas reflexões, ou seja é o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB após a fonte sonora deixar de emitir [2].

O tempo de reverberação pode ser previsto por diversas fórmulas, sendo a mais utilizada a *fórmula de Sabine*. Esta fórmula aproxima-se muito da realidade e, de forma simplificada, pode definir-se pela expressão (2.16).

$$T = \frac{0,16V}{A} = \frac{0,16V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^M A_j + mV} \quad [\text{s}] \quad (2.16)$$

onde,

- T – tempo de reverberação (s);
- V – Volume do compartimento (m^3);
- α_i – coeficiente de absorção sonora do material;
- S_i – superfície real do material (m^2);
- A_j – absorções sonoras localizadas (m^2);
- m – absorção sonora do ar (m^{-1}) em função da humidade relativa (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Absorção sonora do ar (m^{-1}) em função da humidade relativa (o *default* deverá ser 60%) [2].

HR (%)	<1 kHz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,008	0,016	0,056	0,188	0,34
40	0	0,004	0,008	0,044	0,096	0,21
60	0	0,003	0,004	0,028	0,064	0,14
80	0	0,002	0,004	0,008	0,052	0,11

É possível determinar a alteração do nível de pressão sonora num espaço devido ao tratamento acústico. Como tal, pode-se definir essa alteração de acordo com a expressão (2.17).

$$\Delta L = 10 \log \frac{A_1}{A_0} \quad [\text{dB}] \quad (2.17)$$

Sendo,

- A_1 – área de absorção sonora equivalente total depois do tratamento acústico (m^2);
- A_0 – área de absorção sonora equivalente total antes do tratamento acústico (m^2).

É importante salientar um espaço com um tempo de reverberação baixo e outro espaço com um tempo de reverberação elevado podem ser os dois acusticamente bons, pois é apenas a função que cada um tem que determina se são bons ou não. Por exemplo, uma sala de música de órgão tem de ter um tempo de reverberação elevado enquanto que um estúdio de gravação tem de ter um tempo de reverberação baixo. Um espaço bom para o efeito da palavra pode ser mau para o efeito de música, ou seja a função que cada espaço tem é que determina se é necessário um tempo de reverberação alto ou baixo.

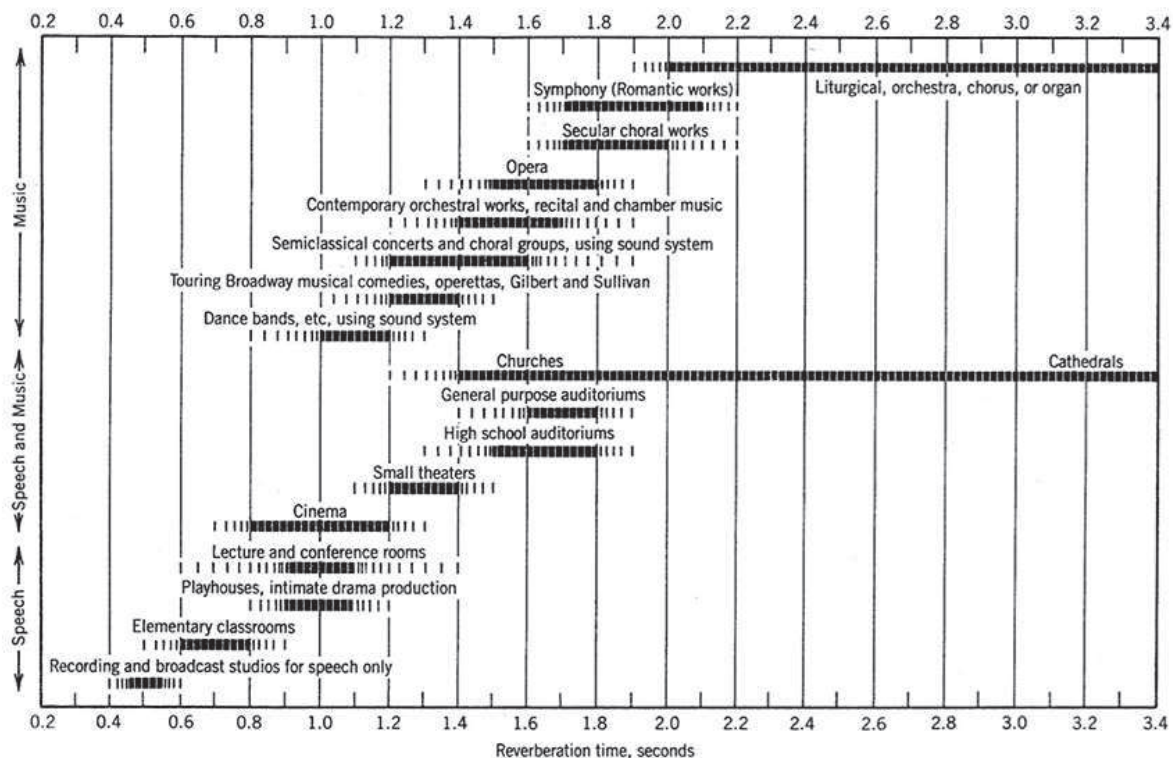


Fig. 2.14 – Tempos de reverberação ideais em função do uso [8].

Na Fig. 2.14 pode ver-se os valores dos tempos de reverberação ideais em função do uso. Por exemplo, salas de aula para crianças pequenas e salas de gravação têm de ter um tempo de reverberação baixo, enquanto por exemplo catedrais e locais de atuação de orquestras já necessitam de tempos de reverberação superiores.

2.4. DIFUSÃO

A superfície que reflete as ondas sonoras em todas as direções designa-se como superfície *difusora*. Portanto, para que isso aconteça, é necessário que a superfície tenha irregularidades com algum relevo, em que o tamanho dessas “irregularidades” ou “relevos” condiciona quais as frequências da onda sonora são refletidas [2].

Os materiais de difusão acústica têm vários objetivos tais como [26]:

- Manter a acústica do espaço viva;
- Prevenir defeitos acústicos como ecos ou zonas de sombra;
- Espalhar o som pelo espaço e aumentar a intimidade sonora do ouvinte.

Nas Fig. 2.15 e 2.14 encontram-se dois exemplos de difusores acústicos: *Quadratic Residue Diffuser* (QRD) e *Art Diffusor*.



Fig. 2.15 e 2.16 – Exemplo de difusores comerciais: *Quadratic Residue Diffuser*, QRD (esq.) [9] e *Art Diffusor* (dir.) [10].

3

UTILIZAÇÃO DE SUPORTES ALVEOLARES COMO ELEMENTO ACÚSTICO

Hoje em dia, a área da acústica está presente em tudo aquilo que nos rodeia e as pessoas já estão a usar os seus conceitos e utilizá-los ao construir os seus próprios espaços. Porém, as soluções e os materiais usados para melhorar um espaço acusticamente têm um custo significativo e além disso a colocação de um só material por vezes nem é suficiente para resolver o problema totalmente e o espaço apenas é bom acusticamente para uma determinada função.

Obras que têm alguma importância e que são para ter funções para toda a sociedade, como por exemplo teatros, salas de concertos ou auditórios, são projetados e construídos utilizando as soluções e materiais acústicos mais adequados independentemente do custo monetário. Porém, nem todos os responsáveis pelos espaços têm condições económicas para optar por essas soluções e materiais e, por isso, recorrem a materiais mais baratos e de fácil aplicação. Por isso, quando se pretende melhorar acusticamente um espaço como por exemplo, em salas de ensaio de bandas filarmónicas, estúdios de gravação, salas de ensaio de “bandas de garagem”, onde se pretende baixar o tempo de reverberação e aumentar a difusão são utilizadas, geralmente, suportes alveolares de ovos.

Os suportes alveolares para ovos não têm como função isolar acusticamente um espaço como algumas pessoas pensam. As caixas de ovos têm como função melhorar um espaço acusticamente, ou seja faz uma correção acústica de um espaço, reduzindo o tempo de reverberação e difundindo o som aí produzido.

Os suportes alveolares podem ser (Fig. 3.1, 3.2 e 3.3):

- Tabuleiros para ovos;
- Caixas para ovos;
- Tabuleiros para fruta.



Fig. 3.1, 3.2 e 3.3 – Exemplos de suportes alveolares: tabuleiro para ovos (esq.), caixa para ovos (centro) e tabuleiro para fruta (dir.) [fotos da autora].

As caixas para ovos podem ter geometrias diferentes, ser de materiais diferentes e ter capacidade de armazenar e transportar diferentes quantidades de ovos, tal como se pode ver na Fig. 3.4.

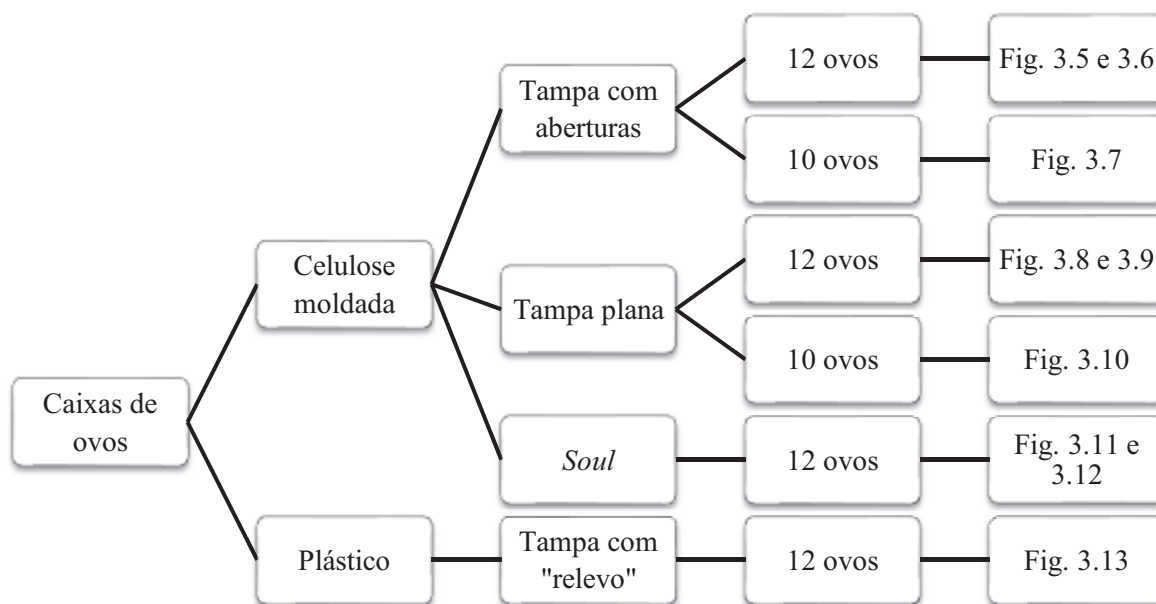


Fig. 3.4 – Exemplos de caixas de ovos existentes no mercado.



Fig. 3.5, 3.6 e 3.7 – Exemplo de caixas de celulose moldada para 12 ovos (esq. e centro) e 10 ovos (dir.) com tampa com aberturas [11].



Fig. 3.8, 3.9 e 3.10 – Exemplo de caixas de celulose moldada para 12 ovos (esq. e centro) e 10 ovos (dir.) com tampa plana (dir.) [12].



Fig. 3.11 e 3.12– Exemplo de caixas *Soul* de celulose moldada para 12 ovos [13].



Fig. 3.13 – Exemplo de caixas de plástico para 12 ovos [foto da autora].

Em relação aos tabuleiros de ovos, estes podem ter geometrias diferentes e ter capacidade de armazenar e transportar diferentes quantidades de ovos, tal como se pode ver na Fig. 3.14.

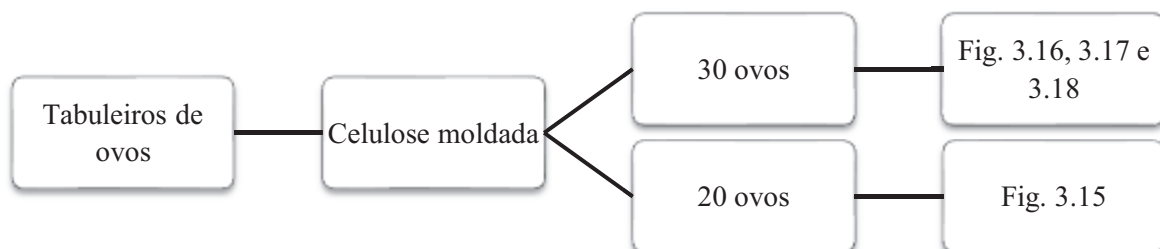


Fig. 3.14 – Exemplos de tabuleiros de ovos existentes no mercado.



Fig. 3.15 – Exemplo de tabuleiro de celulose moldada para 20 ovos [foto da autora].



Fig. 3.16, 3.17 e 3.18 – Exemplo de tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos [fotos da autora].

Os tabuleiros de fruta podem ter geometrias diferentes, ser de materiais diferentes e ter capacidade de armazenar e transportar diferentes quantidades de fruta, tal como se pode ver na Fig. 3.19.

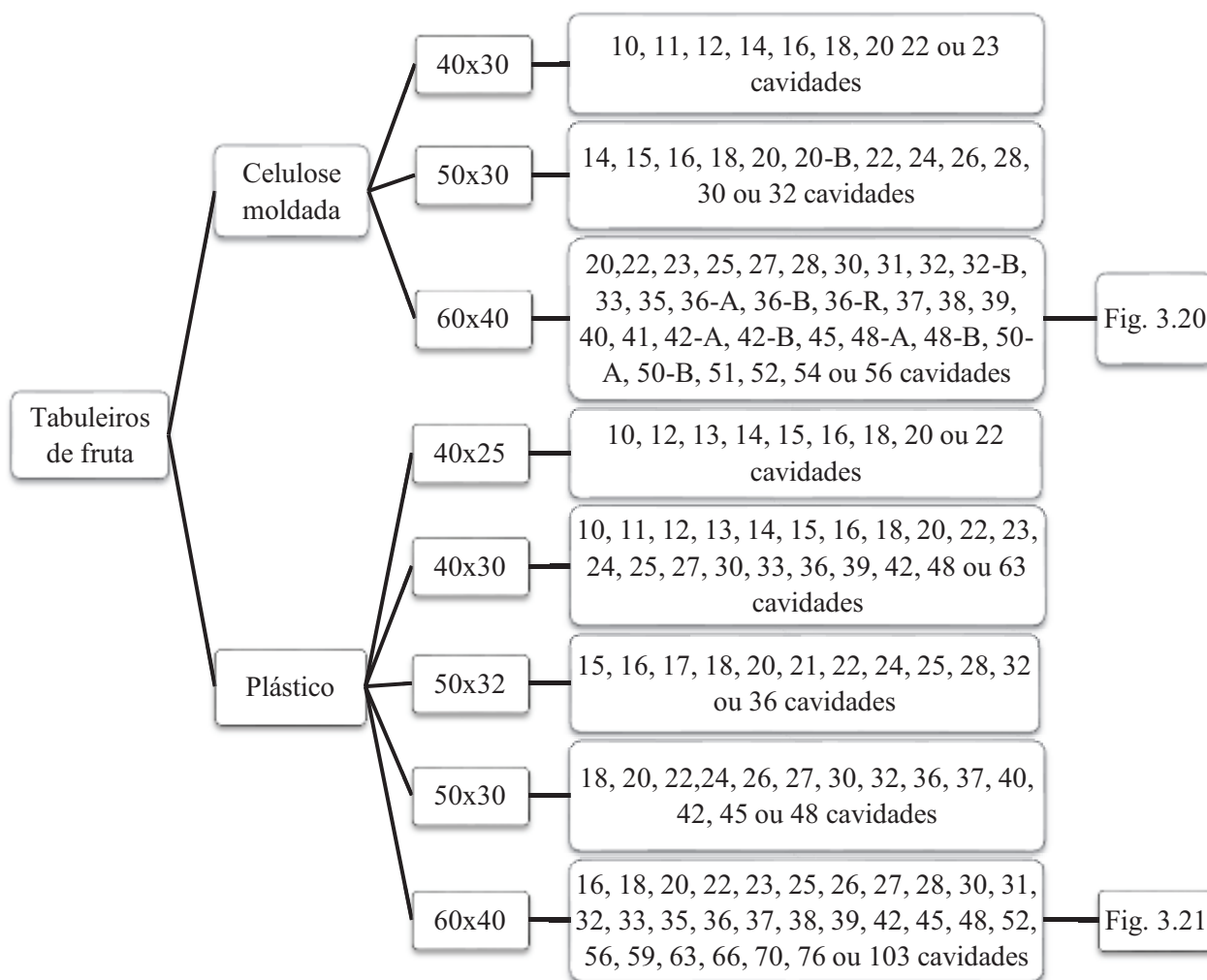


Fig. 3.19 – Exemplos de tabuleiros de fruta existentes no mercado [14 e 15].

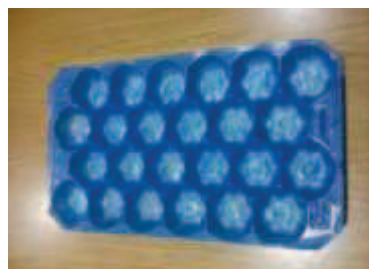


Fig. 3.20 e 3.21 – Exemplo de tabuleiro de celulose moldada com 28 cavidades [14] e de plástico (polipropileno) com 24 cavidades [foto da autora].

Atualmente pode-se ver, principalmente, tabuleiros de ovos aplicados nas paredes e/ou teto de salas de ensaio de bandas filarmónicas (Fig. 3.22, 3.23, 3.24 e 3.25), estúdios de gravação (Fig. 3.26, Fig. 3.27 e Fig. 3.28) e salas de ensaio de “bandas de garagem” (Fig. 3.29) com a função de absorventes sonoros e difusores acústicos.

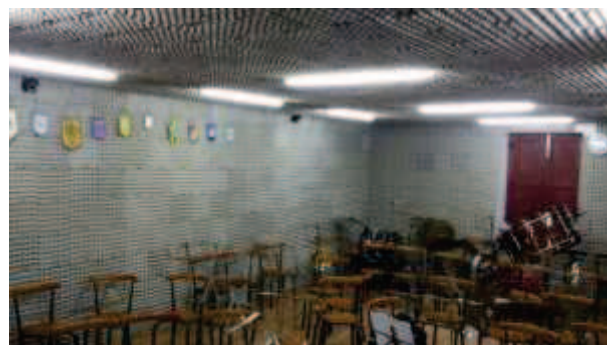


Fig. 3.22 e 3.23 – Sala de ensaio da Sociedade Filarmónica Santa Cruz de Alvarenga (Arouca), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [fotos disponibilizadas pela coletividade].



Fig. 3.24 – Sala de ensaio da Banda Musical de Figueiredo (Arouca) em fase de reabilitação, onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [foto disponibilizada pela coletividade].



Fig. 3.25 – Sala de ensaio da Sociedade Filarmónica Fraternidade de São João de Areias (Santa Comba Dão), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [16].



Fig. 3.26 – Cenário da serie *I love It* da TVI que afigura um estúdio revestido de embalagens de ovos [17].



Fig. 3.27 – Rádio Comunitária Voz de Quelele (Guiné-Bissau) [18].



Fig. 3.28 – Exemplo de estúdio (Portugal) [19].



Fig. 3.29 – Sala de ensaio dos *Ugly Smile* (banda de rock de Arouca), onde se verifica a colocação das embalagens de ovos [20].

Os suportes alveolares de armazenamento e transporte de ovos são utilizados, desde algum tempo, como material absorvente em muitos países para os casos referidos anteriormente.

Em 1988, a empresa *Acoustics First Corporation* situada na Virgínia (Estados Unidos da América) fez um estudo sobre a absorção sonora das embalagens dos ovos. O ensaio para determinar a absorção sonora das caixas de ovos foi realizado no laboratório *Riverbank Acoustical Laboratories* de acordo com as normas ASTM C423-84a [5] e ASTM E795-83 [27]. As caixas de ovos usados eram de papel e o ensaio foi efetuado em câmara reverberante com uma amostra de 6,14 m². Os resultados obtidos estão representados na Fig. 3.30 e Quadro 3.1 [22].

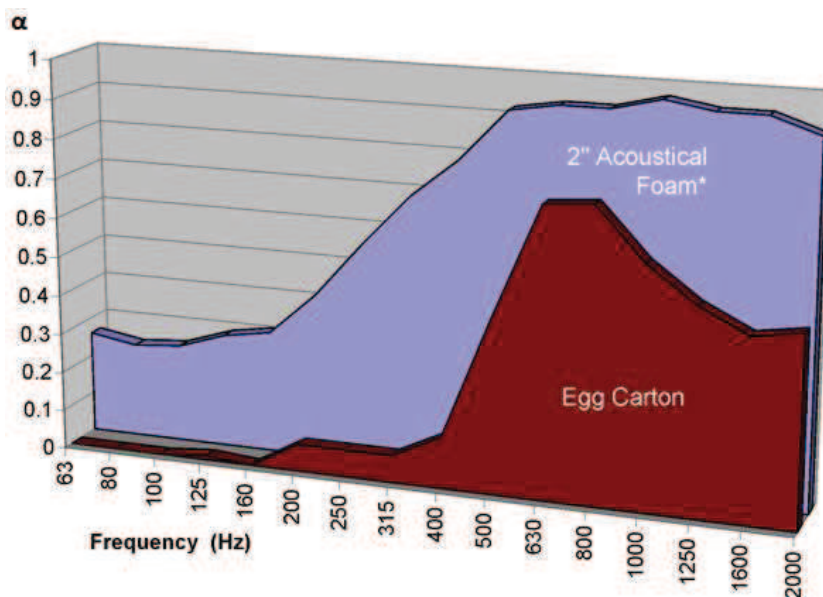


Fig. 3.30 – Resultados do estudo da empresa *Acoustics First Corporation*, onde se pode comparar os coeficientes de absorção das caixas dos ovos (obtidos no *Riverbank Acoustical Laboratories*) com espuma acústica (Fig. 3.31) com 50,8 mm de espessura [21].



Fig. 3.31 – Espuma acústica com 50,8 mm de espessura da empresa *Acoustics First Corporation* usada na Fig. 3.30 [21].

Essa empresa, através do ensaio, chegou à conclusão que as caixas de ovos são absorventes e que têm um valor de NRC igual a 0,40. Contudo, como as caixas não absorvem praticamente nada nas baixas frequências e entre 800 e 1600 Hz há um decréscimo do coeficiente de absorção e a partir dos 1600 Hz há novamente um crescimento, a empresa conclui que a curva característica dos coeficientes de absorção das caixas de ovos não é uniforme ao contrário dos materiais acústicos que têm uma curva suave e uniforme [21].

Quadro 3.1 – Resultados da empresa *Acoustics First Corporation* relativamente ao ensaio de determinação dos coeficientes de absorção sonora de caixas de ovos (obtidos no *Riverbank Acoustical Laboratories*) [22].

Frequências (Hz)	Coeficiente de absorção sonora	Frequências (Hz)	Coeficiente de absorção sonora
100	0,00	800	0,74
125	0,01	1.000	0,61
160	0,00	1.250	0,52
200	0,07	1.600	0,46
250	0,07	2.000	0,48
315	0,07	2.500	0,58
400	0,13	3.150	0,59
500	0,44	4.000	0,69
630	0,73	5.000	0,82

4

MEDIÇÕES

4.1. METODOLOGIA

4.1.1. DESCRIÇÃO

As medições da absorção sonora das peças em estudo foi feito em câmara reverberante e rege-se pela norma NP EN ISO 354 [4] na qual são medidos tempos de reverberação com e sem amostra e, comparando esses resultados, calcula-se a área de absorção sonora equivalente (A_T) da amostra estudada, usando a fórmula de Sabine [4].

Quando a amostra é constituída por vários elementos idênticos, pode-se calcular a área de absorção sonora equivalente de cada objeto (A_{obj}) através da expressão (4.1) [4].

$$A_{obj} = \frac{A_T}{n} \quad [\text{m}^2] \quad (4.1)$$

Em que,

- A_{obj} – área de absorção sonora equivalente de cada objeto;
- A_T – área de absorção sonora equivalente da amostra;
- n – quantidade de objetos idênticos que a amostra possui.

A gama de frequências de medição utilizadas no ensaio são, para as bandas de um terço de oitava, entre 100 e 5000 Hz.

A câmara onde se realizaram os ensaios de todas as amostras foi a câmara reverberante R1 do Laboratório de Acústica da FEUP, que tem um comprimento médio igual 7,463 m, largura média de 5,871 m e um volume de aproximadamente 208 m³.

A forma da câmara reverberante utilizada no ensaio deve normalmente ser tal que permita verificar a expressão (4.2) [4].

$$l_{m\acute{a}x} < 1,9 V^{1/3} \approx 11,26m \quad (4.2)$$

Em que,

- $l_{m\acute{a}x}$ – comprimento da maior linha reta contida nos limites da câmara, em metros;
- V – volume da câmara reverberante, em metros cúbicos.

O valor de $l_{m\acute{a}x}$ é obtido através da expressão (4.3).

$$l_{máx} = \sqrt{7,463^2 + 5,871^2} \approx 9,50m \quad (4.3)$$

Sabendo que a câmara tem 208 m³, então da expressão (4.2) resulta:

$$9,50 < 11,26 \text{ O.K.} \quad (4.4)$$

A câmara reverberante R1 tem difusores suspensos para tornar o campo sonoro suficientemente difuso.

A área absorção sonora equivalente (A1) da câmara reverberante vazia, calculada de acordo com o ponto 4.1.2., determinada por bandas de um terço de oitava, não deve exceder os valores indicados no Quadro 4.1 [4].

Como o volume da câmara reverberante R1 é de 208 m³, então os valores normativos devem ser multiplicados pelo fator $(V/200)^{2/3}$ do qual resultam os valores para V=208 m³ do Quadro 4.1.

A área de absorção sonora equivalente da câmara vazia, no domínio da frequência, deve ser regular e não apresentar picos nem depressões de amplitude superior a 15% da média dos valores correspondentes às duas bandas de terços de oitava adjacentes [4].

Quadro 4.1 – Área de absorção sonora equivalente máxima para câmaras com um volume V=200 m³ (normativo) [4] e R1 da FEUP com um volume de V=208 m³.

Frequência (Hz)	Área de absorção sonora equivalente, m ²		Frequência (Hz)	Área de absorção sonora equivalente, m ²	
	V=200 m ³	V=208 m ³		V=200 m ³	V=208 m ³
100	6,5	6,7	800	6,5	6,7
125	6,5	6,7	1.000	7,0	7,2
160	6,5	6,7	1.250	7,5	7,7
200	6,5	6,7	1.600	8,0	8,2
250	6,5	6,7	2.000	9,5	9,8
315	6,5	6,7	2.500	10,5	10,8
400	6,5	6,7	3.150	12,0	12,3
500	6,5	6,7	4.000	13,0	13,3
630	6,5	6,7	5.000	14,0	14,4

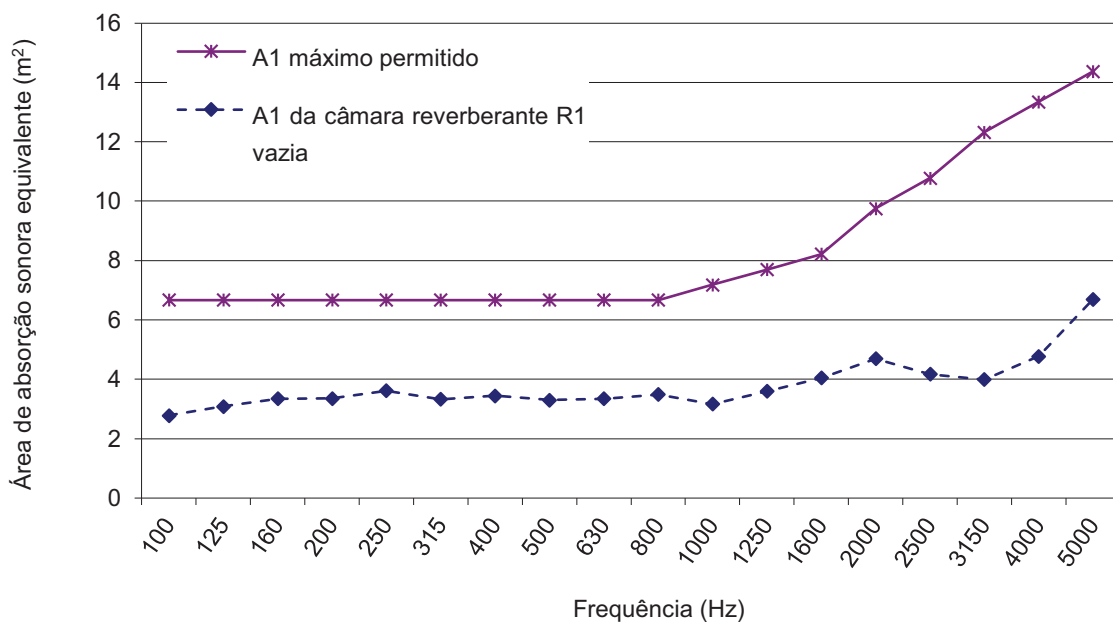


Fig. 4.1 – Comparação entre as áreas máximas de absorção sonora equivalente (A) permitidos e as áreas de absorção sonora equivalente (A_1) da câmara reverberante R1 vazia.

Pode-se observar na Fig. 4.1 que a área de absorção sonora equivalente (A) máxima permitida é superior à área de absorção sonora equivalente (A_1) da câmara reverberante R1 vazia, tal como refere a norma NP EN ISO 354 [4].

A área da amostra deve ser entre 10 e 12 m², porém como o volume da câmara é superior a 200 m³, o limite superior é multiplicado pelo fator $(V/200)^{2/3}$ que dá um valor aproximadamente de 12,3 m² [2].

De acordo com a norma, a amostra deve ter forma retangular com uma relação entre largura e o comprimento compreendida entre 0,7 e 1,0, a sua localização deve ser tal que a distância recomendável de qualquer dos seus pontos às paredes da câmara seja pelo menos 1 m (distância mínima não deve ser inferior a 0,75 m) e os seus lados não devem ficar, de preferência, paralelos às paredes próximas da câmara [4].

A montagem das amostras na câmara reverberante depende de cada tipo de material. As amostras utilizadas neste trabalho foram colocadas no pavimento de acordo com a norma NP EN ISO 354 [4].

A temperatura e a humidade relativa são parâmetros que influenciam no tempo de reverberação medido, principalmente nas altas frequências. A temperatura durante o ensaio deve ser superior a 15 °C e a humidade relativa deve estar compreendida entre 30% e 90% [4].

Os tempos de reverberação numa câmara reverberante, de acordo com a norma NP EN ISO 354 [4] podem ser medidos através de dois métodos de análise das curvas de decaimento: o método do ruído interrompido e o método da resposta impulsiva integrada. A curva de decaimento medida pelo método do ruído interrompido resulta de um processo estatístico, sendo necessário calcular a média das várias curvas de decaimento, ou tempos de reverberação, medidos para uma dada posição da fonte/microfone. O método da resposta impulsiva integrada é um método que requer equipamentos e processos mais sofisticados pois as curvas de decaimento são obtidas através de funções determinísticas sem propensão a desvios estáticos [4].

Neste trabalho utilizou-se o método utilizado no Laboratório de Acústica da FEUP que é o método do ruído interrompido.

Os quatro microfones usados no presente trabalho são omnidirecionais (*B&K*). Foram utilizadas duas posições diferentes na disposição dos microfones mas afastados entre si, no mínimo, de 1,5 m a 2 m da fonte sonora e pelo menos a 1 m de distância das superfícies da câmara e da amostra [4].

Relativamente às fontes sonoras, neste trabalho foram utilizadas duas (a diferença na potência radiada entre as duas é menor ou igual a 3 dB em cada banda de um terço de oitava) com radiação omnidirecional tendo-se variado as suas posições duas vezes mas sempre cumprindo um espaçamento mínimo de 3 m entre elas [4].

Portanto para cada posição da fonte sonora foram utilizadas duas posições dos microfones e em cada uma das posições foram feitas três medições. Foram pois usadas 12 curvas de decaimento em cada microfone.

No método do ruído interrompido é utilizada uma fonte sonora que apresenta um espectro contínuo de banda larga (ruído branco). Quando se utiliza um ruído de banda larga e um analisador em tempo real, o espectro do ruído usado deve ser tal que as diferenças nos níveis de pressão sonora resultantes na câmara sejam menores que 6 dB em bandas de terço de oitava adjacentes [4]. O sinal das fontes sonoras, antes de ser interrompido, deverá ser suficientemente longo para produzir níveis de pressão sonora constantes nas várias bandas de frequências. Para obter condições constantes, aconselha-se que o tempo de excitação seja pelo menos metade do tempo estimado para o tempo de reverberação esperado. Relativamente ao nível estabilizado do sinal de ensaio, este deve ser suficientemente elevado de modo a que o nível mínimo seja pelo menos 10 dB superior ao ruído de fundo [4].

Para se reduzir a incerteza das medições, causada por desvios estatísticos, são feitas várias medições (número mínimo de três medições) em cada posição de fonte/microfone obtendo-se valores médios. A média pode ser calculada por dois métodos. O primeiro método (designado como “média do conjunto”) consiste no cálculo da média das curvas de decaimento registadas para cada posição de fonte/microfone de acordo com a expressão (4.5) [4].

$$L_p(t) = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pn}(t)}{10}} \right) \quad (4.5)$$

Em que,

- $L_p(t)$ – nível de pressão sonora médio, no instante t , calculado para um número total de N decaimentos;
- $L_{pn}(t)$ – nível de pressão sonora do decaimento de ordem n , no instante t .

O segundo método, que foi o utilizado neste trabalho, consiste em determinar os tempos de reverberação em cada curva de decaimento individual [4]. Neste trabalho, foram feitas três medições para cada posição fonte/microfone (quatro posições) e como foram utilizados quatro microfones então, no total, são 48 curvas de decaimento. Por este método são determinados os tempos de reverberação primeiro e depois é que é feita a média aritmética de todos os tempos resultando o tempo de reverberação final da câmara.

A avaliação de curva de decaimento para cada banda de frequência deve começar 5 dB abaixo no nível de pressão sonora inicial. A gama de avaliação deve ser 20 dB e o nível inferior da gama de avaliação deve ser pelo menos 10 dB superior ao ruído de fundo global do sistema de medição. Quando se

utiliza um sistema de aquisição controlado pelo computador, como é o caso, o tempo de reverberação deve ser calculado utilizando uma regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, no intervalo de avaliação. [4]

O equipamento e o *software* utilizado durante os ensaios foram os seguintes:

- Sistema de aquisição de dados *Brüel & Kjaer PULSE* – Tipo 3560-D;
- *Software* de aquisição e tratamento de dados *Brüel & Kjaer PULSE* v. X;
- Amplificador *LABGRUPPEN LAB300*;
- 2 Fontes sonoras semiomnidirecionais JBL EON 15-62;
- 4 Microfones *Brüel & Kjaer* $\frac{1}{2}$ – Tipo 4190;
- Calibrador *Brüel & Kjaer* – Tipo 4226;
- Termo – higrómetro *Wm HTA* 4200.

4.1.2. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

Para calcular os coeficientes de absorção sonora é necessário primeiro obter os valores dos tempos de reverberação médios a partir de uma média aritmética do número total de medições, sendo os tempos de reverberação da câmara vazia designados por T_1 e pelos tempos de reverberação da câmara reverberante com a amostra por T_2 . [4]

De seguida é calculada a área de absorção equivalente A_1 (m^2) da câmara reverberante vazia de acordo com a expressão (4.6) [4].

$$A_1 = \frac{55,3V}{c_1 T_1} - m_1 V \quad [\text{m}^2] \quad (4.6)$$

Em que,

- A_1 – área de absorção equivalente da câmara reverberante vazia (m^2);
- V – volume de câmara reverberante vazia (m^3);
- c_1 – celeridade de propagação do som no ar (m/s) calculada pela expressão (2.2) utilizando a temperatura na câmara reverberante vazia durante a respetiva medição;
- T_1 – tempo de reverberação da câmara reverberante vazia (s);
- m_1 – absorção sonora do ar (m^{-1}), em função da humidade relativa da câmara reverberante vazia (Quadro 2.1). Na NP EN ISO 354 [4] a expressão indica “ $-4mV$ ” mas os valores de m presentes no Quadro 2.1 já estão multiplicados por 4.

A área de absorção equivalente A_2 (m^2) da câmara reverberante com a amostra de ensaio deve ser calculada de acordo com a expressão (4.7) [4].

$$A_2 = \frac{55,3V}{c_2 T_2} - m_2 V \quad [\text{m}^2] \quad (4.7)$$

Sendo,

- A_2 – área de absorção equivalente da câmara reverberante com a amostra de ensaio (m^2);
- V – volume de câmara reverberante com a amostra de ensaio (m^3);
- c_2 – celeridade de propagação do som no ar (m/s) calculada pela expressão (2.2) utilizando a temperatura na câmara reverberante com a amostra de ensaio durante a respetiva medição;

- T_2 – tempo de reverberação da câmara reverberante com a amostra de ensaio (s);
- m_2 – absorção sonora do ar (m^{-1}) em função da humidade relativa da câmara reverberante com a amostra de ensaio (Quadro 2.1). Na NP EN ISO 354 [4] a expressão indica “ $-4mV$ ” mas os valores de m presentes no Quadro 2.1 já estão multiplicados por 4.

A área de absorção sonora equivalente A_T (m^2) de toda a amostra de ensaio é calculada pela expressão (4.8) [4].

$$A_T = A_2 - A_l \quad [\text{m}^2] \quad (4.8)$$

A área de absorção sonora equivalente de cada objeto individual (A_{obj}) que constitui a amostra de ensaio pode ser calculada pela expressão (4.1).

O coeficiente de absorção sonora α_s da amostra é calculado pela expressão (4.9) [4].

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (4.9)$$

Sendo,

- α_s – coeficiente de absorção sonora da amostra de ensaio obtido no ensaio;
- A_T – área de absorção sonora equivalente da amostra de ensaio (m^2);
- S – área da amostra de ensaio (m^2).

Este método pode conduzir a valores de α_s superiores à unidade. Isto acontece devido à difração do som nos bordos da amostra que a faz parecer maior. Logo, a absorção sonora do material devido a esse “acréscimo” de área irá ser maior e por sua vez vai aumentar o coeficiente de absorção sonora [2].

Os valores medidos são de α_s ($S - \text{Sabine}$) e não o valor teórico físico (α), que não pode ser superior a 1,0.

4.2. AMOSTRA

4.2.1. TIPOS

As amostras utilizadas nos ensaios são de dois materiais: “papel” e “plástico”. Os suportes alveolares de papel usados neste trabalho são fabricados, praticamente todos, pela empresa *Cemopol, Celuloses Moldadas Portuguesas, Lda* (Pombal) a qual utiliza celulose moldada para fazer as caixas e os tabuleiros para transportar e armazenar os ovos e a fruta. Em relação aos suportes alveolares de plástico, o plástico utilizado nos tabuleiros de fruta é polipropileno (PP) e o plástico usado nas caixas para os ovos é o poliestireno (PS).

Foram também usadas, num dos ensaios, placas de espuma *Aglomex* [28] (espuma flexível de poliuretano) da empresa *Flex 2000* [29] com 30 mm de espessura.

As amostras de suportes alveolares de papel analisadas neste trabalho encontram-se na Fig. 4.2 e as amostras de suportes alveolares de plástico encontra-se na Fig. 4.3.

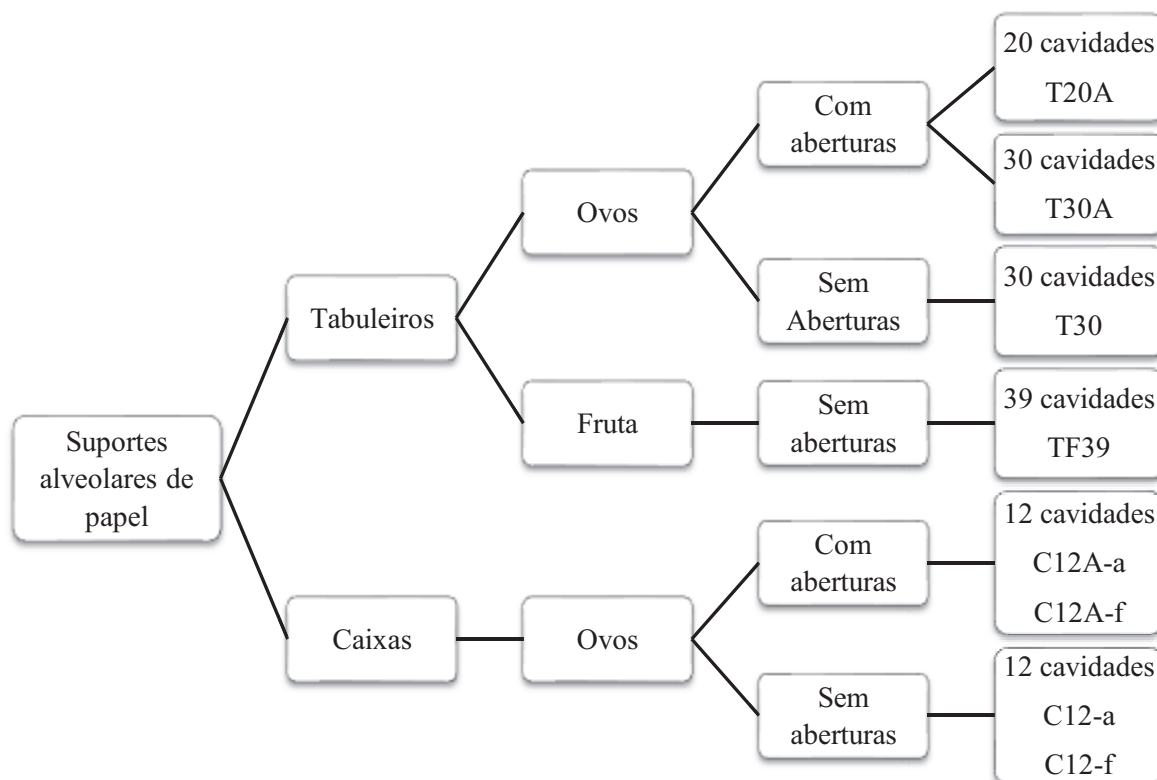


Fig. 4.2 – Suportes alveolares de papel analisados neste trabalho.

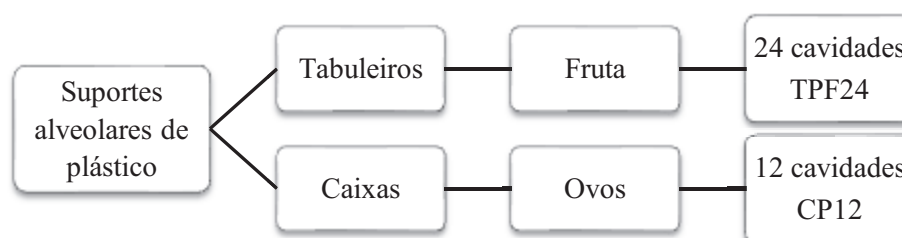


Fig. 4.3 – Suportes alveolares de plástico analisados neste trabalho.

4.2.2. SUPORTE ALVEOLAR DE PAPEL

Os tipos de suportes alveolares de papel ensaiados encontram-se no Quadro 4.2 e no Quadro 4.3 estão descritas as características de cada unidade para cada tipo de suporte alveolar de papel.

Quadro 4.2 – Tipos de suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, a – aberta, f – fechada).

Código	Descrição		Figuras
T20A	Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas)		4.4 e 4.5
T30A	Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas)		4.6 e 4.7
T30	Tabuleiro para 30 ovos		4.8 e 4.9
C12A-a	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas)	aberta	4.10 e 4.11
C12A-f		fechada	4.12 e 4.13
C12-a	Caixa para 12 ovos	aberta	4.14 e 4.15
C12-f		fechada	4.16 e 4.17
TF39	Tabuleiro de Fruta com 39 cavidades		4.18 e 4.19



Fig. 4.4 e 4.5 – T20A - Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas) quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.6 e 4.7– T30A - Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas) quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.8 e 4.9 – T30 - Tabuleiro para 30 ovos quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.10 e 4.11 – C12A-a - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) aberta quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.12 e 4.13 – C12A-f - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) fechada quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.14 e 4.15– C12-a - Caixa para 12 ovos aberta quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.16 e 4.17 – C12-f - Caixa para 12 ovos fechada quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].



Fig. 4.18 e 4.19 – TF39 - Tabuleiro da Fruta com 39 cavidades quando a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) estão voltadas para cima [fotos da autora].

Quadro 4.3 – Características de cada tipo de suporte alveolar de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, a – aberta, f – fechada).

Código	Área aprox. (m ²)	L (mm)	C (mm)	Altura (mm)	Peso (g)
T20A	0,0855	291	294	42	64
T30A	0,0879	296	297	44	68
T30	0,0879	296	297	44	71
C12A-a	0,0646	214	302	63 (picos)	60
C12A-f	0,0314	104	302	68	60
C12-a	0,0646	214	302	42 (picos)	62
C12-f	0,0314	104	302	68	62
TF39	0,2101	368	571	25	81

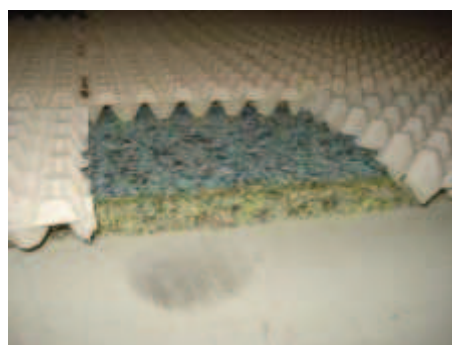
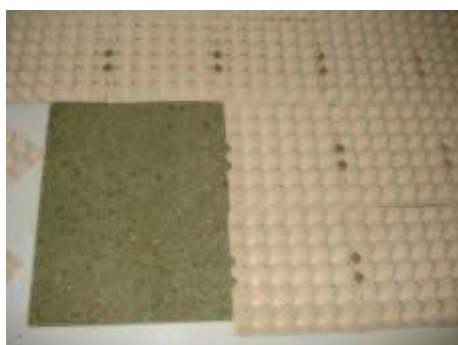


Fig. 4.20 e 4.21 – T30A-n-ESP -Tabuleiro para 30 ovos com pequenas Aberturas (superfície normal voltada para cima) sobre placas de Espuma Aglomex de 30 mm de espessura [fotos da autora].

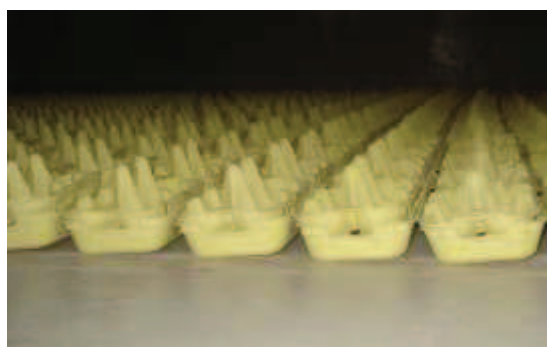


Fig. 4.22 e 4.23 – C12A-a-n-ST - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) Sem Tampa quando se encontra com a superfície normal voltada para cima (superfície normal sobre a tampa) [fotos da autora].

Os ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de papel apresentados anteriormente foram os apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Descrição dos ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, F – Fruta, ESP – placas de espuma *aglomex*, ST – Sem Tampa, a – aberta, f – fechada, i – superfície inversa, n – superfície normal).

Código	Descrição	Figuras
T20A-n	Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas) com superfície normal exposta ao som	4.4
T20A-i	Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas) com superfície inversa exposta ao som	4.5
T30A-n	Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas) com superfície normal exposta ao som	4.6
T30A-i	Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas) com superfície inversa exposta ao som	4.7
T30A-n-ESP	Tabuleiro para 30 ovos com pequenas Aberturas (com superfície normal exposta ao som) sobre placas de espuma <i>aglomex</i> de 30 mm	4.20 e 4.21
T30-n	Tabuleiro para 30 ovos com superfície normal exposta ao som	4.8
T30-i	Tabuleiro para 30 ovos com superfície inversa exposta ao som	4.9
C12A-a-n	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) aberta quando a superfície normal está exposta ao som	4.10
C12A-a-i	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) aberta quando a superfície inversa está exposta ao som	4.11
C12-a-n-ST	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) sem tampa quando se encontra com a superfície normal exposta ao som (superfície normal sobre a tampa).	4.22 e 4.23
C12A-f-n	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) fechada com superfície normal exposta ao som	4.12
C12-f-i	Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) fechada com superfície inversa exposta ao som	4.13
C12-a-n	Caixa para 12 ovos aberta com superfície normal exposta ao som	4.14
C12-a-i	Caixa para 12 ovos aberta com superfície inversa exposta ao som	4.15
C12-f-n	Caixa para 12 ovos fechada com superfície normal exposta ao som	4.16
TF39-n	Tabuleiro de fruta com 39 cavidades com superfície normal exposta ao som	4.18
TF39-i	Tabuleiro de fruta com 39 cavidades com superfície inversa exposta ao som	4.19

Quadro 4.5 – Características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de papel que foram ensaiadas e as condições em que cada ensaio foi realizado (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com Aberturas, F – Fruta, ESP – placas de Espuma *Aglomex*, ST – Sem Tampa, a – aberta, f – fechada, i – superfície inversa, n – superfície normal).

Código	Número de unidades	Área total (m ²)	L (m)	C (m)	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)
T20A-n	120	10,4	2,95	3,52	16	64
T20A-i	120	10,4	2,95	3,52	16	63
T30A-n	120	10,5	2,97	3,54	16	64
T30A-i	120	10,5	2,96	3,55	16	63
T30A-n-ESP	110	9,5	2,94	3,24	16	64
T30-n	120	10,7	2,97	3,60	16	64
T30-i	120	10,7	2,96	3,60	16	63
C12A-a-n	170	11,2	3,04	3,70	16	62
C12A-a-i	170	11,0	3,03	3,61	16	62
C12-a-n-ST	198	7,1	2,59	2,72	16	65
C12A-f-n	198	6,4	2,33	2,75	16	63
C12-f-i	198	6,5	2,35	2,75	16	62
C12-a-n	160	10,7	3,06	3,48	16	61
C12-a-i	160	10,5	3,07	3,41	16	62
C12-f-n	205,5	6,8	2,51	2,70	16	61
TF39-n	48	10,3	2,98	3,47	16	62
TF39-i	48	10,3	2,98	3,44	16	62

As características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de papel que foram ensaiadas e as condições em que cada ensaio foi realizado estão descritas no Quadro 4.5. O ensaio no qual se pretendia calcular a área da absorção equivalente da câmara reverberante R1 foi realizado com temperatura igual a 16 °C e uma humidade relativa de 61%.

Os elementos que constituem as amostras quando ensaiadas pela superfície normal e inversa foram os mesmos, no entanto no Quadro 4.5 pode-se observar que os comprimentos e larguras das amostras não são iguais quando ensaiadas pela superfície normal e inversa, o que pode fazer com que as áreas também não sejam iguais. Essas diferenças devem-se ao facto de existirem pequenos espaços vazios nas amostras após todos os elementos que a constituem terem sido colocados na câmara reverberante. Porém os elementos foram reajustados no final da montagem de forma a não haver espaços vazios mas como as laterais dos elementos são frágeis esses continuaram a existir. Nota-se no Quadro 4.5 que existem maiores diferenças de áreas nas amostras constituídas por caixas para 12 ovos abertas isto

porque possuem uma dobra (para abrir e fechar a caixa) e torna-as ainda mais vulneráveis que os elementos das outras amostras.

Pode ver-se no Quadro 4.5 que a área de algumas amostras é inferior à área mínima que a norma NP EN ISO 354 [4] estabelece (10 m^2) o que implicaria que os resultados dos coeficientes de absorção (α_s) das amostras com área inferior fossem superiores aos resultados se a mesma amostra tivesse mais área. Porém, o trabalho *Absorption coefficients-part 2: is “edge effect” more important than expected?* [23] apresentado no congresso *Inter-Noise 2009* mostra que existe diferença nos valores dos coeficientes de absorção quando comparadas as amostras com área de $8,22 \text{ m}^2$ e $1,61 \text{ m}^2$ (relação de 1:5), mas comparando as amostras com área de $8,22 \text{ m}^2$ e $6,42 \text{ m}^2$ (relação de 1:1,3) a diferença nos coeficientes de absorção é praticamente nula. Logo, se a área da amostra fosse de 10 m^2 também os resultados não iriam variar praticamente nada. Portanto, como a amostra com menor área tem $6,40 \text{ m}^2$, os resultados do coeficiente de absorção não serão muito diferentes se a amostra tivesse uma área de 10 m^2 (relação de 1:1,6) e por isso todos os resultados das amostras serão “comparáveis”.

4.2.3. SUPORTE ALVEOLAR DE PLÁSTICO

Os tipos de suportes alveolares de plástico ensaiados encontram-se no Quadro 4.6. As características de cada unidade para cada tipo de suporte alveolar de plástico estão descritas no Quadro 4.7. Os ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de plástico foram os apresentados no Quadro 4.8. As características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de plástico que foram ensaiadas e as condições que cada ensaio foi realizado estão descritas no Quadro 4.9.

Quadro 4.6 – Tipos de suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta).

Código	Descrição	Figuras
CP12-a	Caixa para 12 ovos aberta	4.24 e 4.25
TPF24	Tabuleiro de fruta com 24 cavidades	4.26 e 4.27

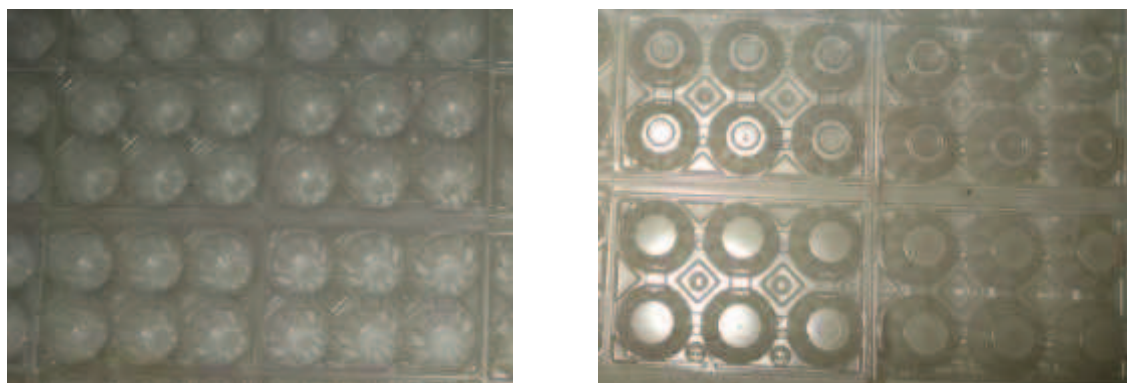


Fig. 4.24 e 4.25 – CP12-a - Caixa de Plástico para 12 ovos com a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) voltadas para cima [fotos da autora].

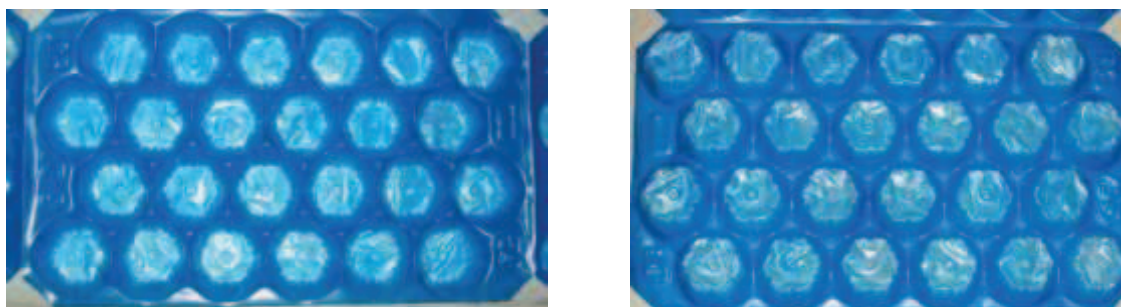


Fig. 4.26 e 4.27– TPF24 - Tabuleiro Plástico de Fruta com 24 cavidades com a superfície normal (esq.) e superfície inversa (dir.) voltadas para cima [fotos da autora].

Quadro 4.7 – Características de cada tipo de suporte alveolar de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta).

Código	Área aprox. (m ²)	L (mm)	C (mm)	Altura (mm)	Peso (g)
CP12-a	0,0695	225	309	35	18
TPF24	0,1373	283	485	35	24

Quadro 4.8 – Descrição dos ensaios realizados a cada tipo de suporte alveolar de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta, n – superfície normal, i – superfície inversa).

Código	Descrição	Figuras
CP12-a-n	Caixa de Plástico para 12 ovos aberta com superfície normal exposta ao som	4.24
CP12-a-i	Caixa de Plástico para 12 ovos aberta com superfície inversa exposta ao som	4.25
TPF24-n	Tabuleiro de Plástico para Fruta com 24 cavidades com superfície normal exposta ao som	4.26
TPF24-i	Tabuleiro de Plástico para Fruta com 24 cavidades com superfície inversa exposta ao som	4.27

Quadro 4.9 – Características de cada amostra dos diversos suportes alveolares de plástico que foram ensaiadas e as condições que cada ensaio foi realizado (T – Tabuleiro, C – Caixa, P – Plástico, F – Fruta, a – aberta, n – superfície normal, i – superfície inversa).

Código	Quantidade de unidades	Área total (m ²)	L (m)	C (m)	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)
CP12-a-n	150	10,8	3,20	3,37	16	64
CP12-a-i	150	10,7	3,20	3,36	16	64
TPF24-n	77	10,7	3,13	3,41	16	60
TPF24-i	77	10,7	3,15	3,40	16	61

Os elementos que constituem as amostras quando ensaiadas pela superfície normal e inversa foram os mesmos, no entanto no Quadro 4.9 pode-se observar que os comprimentos e larguras das amostras não são iguais quando ensaiadas pela superfície normal e inversa, o que pode fazer com que as áreas também não sejam iguais. Essas diferenças devem-se ao facto de existirem pequenos espaços vazios nas amostras após todos os elementos que a constituem terem sido colocados na câmara reverberante. Porém os elementos foram reajustados no final da montagem de forma a não haver espaços vazios mas como as laterais dos elementos são frágeis esses continuaram a existir. Nota-se no Quadro 4.9 que apenas existem diferenças de áreas na amostra constituída por caixas para 12 ovos abertas isto porque possuem uma dobra (para abrir e fechar a caixa) e torna-as ainda mais vulneráveis que os elementos da outra amostra.

5

RESULTADOS

5.1. SUPORTES ALVEOLARES DE PAPEL

5.1.1. AMOSTRA T20A

5.1.1.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra T20A é constituída por tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas fornecidos pela empresa *Casa do Aido – Bernardino de Almeida e Costa & Filhos SA* (São Pedro do Sul). Nesta amostra foram ensaiadas as duas superfícies de exposição ao som: normal (“-n”) e inversa (“-i”).

No Quadro 5.1 apresentam-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra T20A para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre os dois lados da amostra (ΔA_T), a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.1) e os coeficientes de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.2).

A área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) está aqui apresentada para ser útil em processo de projeto acústico para que seja assim mais fácil determinar o número mínimo de unidades a utilizar numa dada situação concreta.

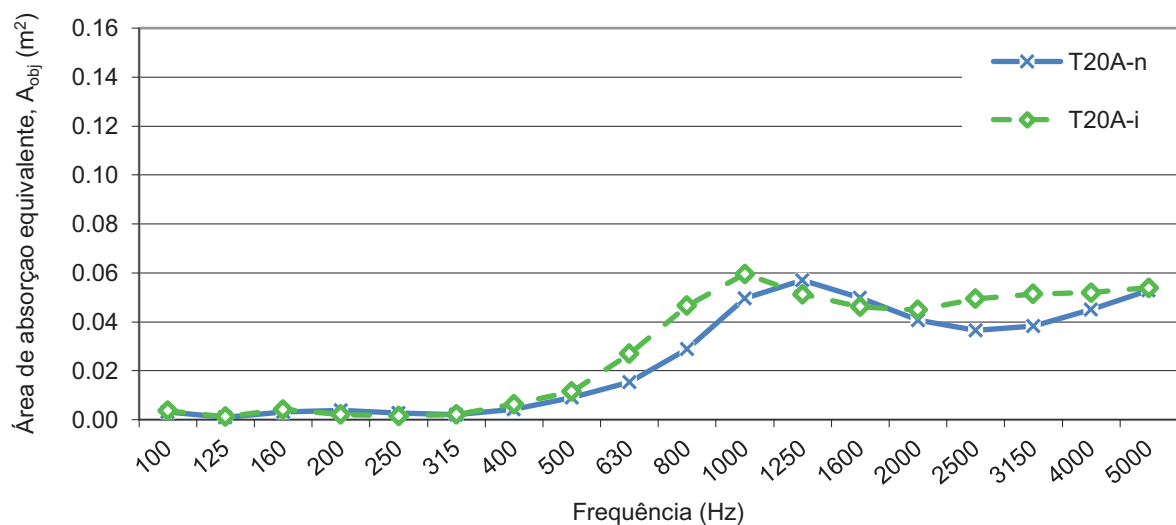


Fig. 5.1 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Quadro 5.1 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)		α_s	
	T20A-n	T20A-i		T20A-n	T20A-i	T20A-n	T20A-i
100	0,37	0,44	19	0,003	0,004	0,04	0,04
125	0,11	0,15	40	0,001	0,001	0,01	0,01
160	0,38	0,50	31	0,003	0,004	0,04	0,05
200	0,46	0,26	-45	0,004	0,002	0,04	0,02
250	0,32	0,18	-43	0,003	0,002	0,03	0,02
315	0,24	0,26	8	0,002	0,002	0,02	0,02
400	0,52	0,76	46	0,004	0,006	0,05	0,07
500	1,09	1,37	27	0,009	0,011	0,10	0,13
630	1,84	3,23	76	0,015	0,027	0,18	0,31
800	3,48	5,59	61	0,029	0,047	0,33	0,54
1000	5,94	7,15	20	0,049	0,060	0,57	0,69
1250	6,84	6,16	-10	0,057	0,051	0,66	0,59
1600	5,98	5,54	-7	0,050	0,046	0,57	0,53
2000	4,89	5,38	10	0,041	0,045	0,47	0,52
2500	4,38	5,93	35	0,037	0,049	0,42	0,57
3150	4,59	6,16	34	0,038	0,051	0,44	0,59
4000	5,39	6,23	16	0,045	0,052	0,52	0,60
5000	6,35	6,46	2	0,053	0,054	0,61	0,62

Nas Fig. 5.1 e 5.2 pode ver-se que existem diferenças nos resultados obtidos nos ensaios realizados à superfície normal e inversa do tabuleiro de 20 ovos (T20A). Porém, só há diferença nas frequências médias e nas agudas pelo que nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora nem na superfície normal nem na inversa.

Verifica-se, pelas Fig. 5.1 e 5.2, que os resultados do ensaio à amostra T20A-i (superfície inversa) relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora, são um pouco superiores na maioria das frequências (por exemplo nos 630 Hz há um aumento de 76% na área de absorção sonora equivalente) e isto deve-se, principalmente, ao facto de a área exposta às ondas sonoras ser superior na superfície inversa do tabuleiro uma vez que as aberturas se encontram “tapadas” pelo pavimento da câmara reverberante R1, tal como se pode observar nas Fig. 4.4 e 4.5, isto é, tendo uma maior área exposta a energia das ondas sonoras dissipa-se mais rapidamente.

Ao observar os resultados das Fig. 5.1 e 5.2 nas frequências médias e agudas pode-se ver uma espécie de translação entre os resultados a partir dos 500 Hz, em que os resultados do ensaio T20A-i

(superfície inversa) encontram-se mais à esquerda. Isto acontece devido ao facto de existirem pequenas aberturas nos tabuleiros, ou seja quando o tabuleiro está com a face normal em contacto com o pavimento as aberturas estão tapadas pelo próprio pavimento e não estão diretamente expostas às ondas sonoras (Fig. 4.4), mas se a posição do tabuleiro for ao contrário, as aberturas estão diretamente expostas existindo uma caixa-de-ar até chegar ao pavimento (material refletor) que poderia funcionar como ressoador. Porém, ao contrário do que se pensava, as pequenas aberturas talvez não funcionem como ressoadores (quando os tabuleiros se encontram sobre material refletor) e fazem com que os resultados do ensaio T20A-n (superfície normal) estejam mais à direita dos resultados do ensaio T20A-i (superfície inversa).

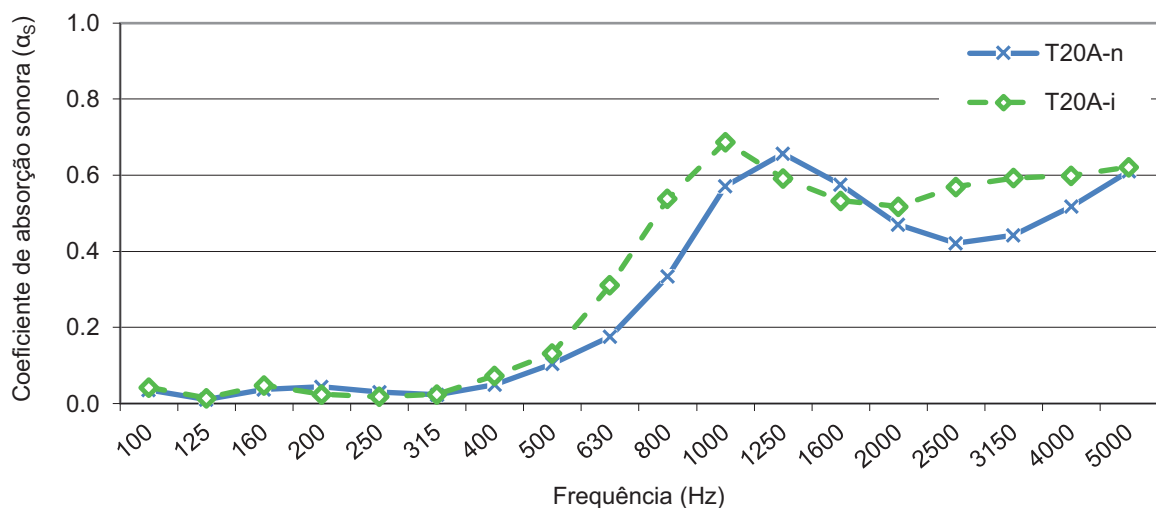


Fig. 5.2 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

5.1.1.2. NRC e α_w

No Quadro 5.2 apresentam-se os resultados obtidos para a amostra T20A relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora.

Os tabuleiros de 20 ovos com pequenas aberturas (T20A) têm valores baixos relativamente ao NRC e α_w , pelo que as disposições ensaiadas não são as melhores quando se pretende usar este tipo de tabuleiro com o objetivo de absorver o som.

Quadro 5.2 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Parâmetro	Amostra	
	T20A-n	T20A-i
NRC	0,30	0,35
α_w	0,20 (H)	0,20 (H)
Classe de absorção sonora	E	E

5.1.2. AMOSTRA T30A

5.1.2.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra T30A é constituída por tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas emprestados pela empresa *Ovorocha-Vasco Alves Rocha & Filhos-Comércio e Produção de Ovos* (Ovar). Nesta amostra foram ensaiadas as duas superfícies de exposição: normal (“-n”) e inversa (“-i”).

No Quadro 5.3 apresenta-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra T30A pela superfície normal e inversa para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre os duas faces (ΔA_T), a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.5) e os coeficientes de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.3).

Quadro 5.3 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)		α_s	
	T30A-n	T30A-i		T30A-n	T30A-i	T30A-n	T30A-i
100	0,48	0,37	-23	0,004	0,003	0,05	0,04
125	0,08	0,10	27	0,001	0,001	0,01	0,01
160	0,25	0,34	35	0,002	0,003	0,02	0,03
200	0,08	0,07	-21	0,001	0,001	0,01	0,01
250	0,10	0,51	420	0,001	0,004	0,01	0,05
315	0,29	0,47	60	0,002	0,004	0,03	0,04
400	0,64	0,80	25	0,005	0,007	0,06	0,08
500	0,95	1,36	44	0,008	0,011	0,09	0,13
630	1,73	2,87	66	0,014	0,024	0,16	0,27
800	2,87	5,83	104	0,024	0,049	0,27	0,56
1000	5,50	7,27	32	0,046	0,061	0,52	0,69
1250	7,02	6,90	-2	0,059	0,058	0,67	0,66
1600	6,65	5,95	-10	0,055	0,050	0,63	0,57
2000	5,43	5,46	1	0,045	0,046	0,52	0,52
2500	4,78	5,55	16	0,040	0,046	0,46	0,53
3150	5,53	6,15	11	0,046	0,051	0,53	0,59
4000	5,43	6,33	16	0,045	0,053	0,52	0,60
5000	7,01	7,35	5	0,058	0,061	0,67	0,70

No Quadro 5.4 apresentam-se os resultados obtidos do ensaio efetuado à amostra T30A sobre as placas *aglomex* de espuma de poliuretano (de diferentes densidades) de 30 mm para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a área de absorção equivalente de cada elemento que a

constitui (A_{obj}) (Fig. 5.5) e os coeficientes de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.4). No Quadro 5.4 e Fig. 5.4 também se apresentam os resultados obtidos do ensaio às placas de espuma *aglomex* de 30 mm (isoladas) de forma a permitir saber se ao utilizar os tabuleiros de 30 ovos com pequenas aberturas, sobre as ditas placas de espuma, se melhora a absorção sonora.

Na Fig. 5.3 e Fig. 5.5 podem-se observar os resultados da área de absorção sonora equivalente de cada elemento e os coeficientes de absorção sonora da superfície normal e inversa da amostra T30A e tal como a amostra T20A existem diferenças entre as duas superfícies. Nas frequências graves não existe praticamente nenhuma absorção sonora sendo que essas diferenças acontecem nas frequências médias e agudas.

Verifica-se, pelas Fig. 5.3 e 5.5, que os resultados do ensaio à amostra T30A-i (“-i” - superfície inversa”) relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora são um pouco superiores na maioria das frequências (por exemplo nos 250 Hz há um aumento de 420% na área de absorção sonora equivalente) e isto deve-se, ao facto de a área exposta às ondas sonoras ser superior na superfície inversa do tabuleiro uma vez que as aberturas se encontram “tapadas” pelo pavimento da câmara reverberante R1, tal como se pode observar nas Fig. 4.6 e 4.7, isto é, tendo uma maior área exposta a energia das ondas sonoras dissipa-se mais rapidamente, tal como acontece na amostra T20A.

Ao observar os resultados das Fig. 5.3 e 5.5 nas frequências médias e agudas pode-se ver uma espécie de translação entre os resultados a partir dos 500 Hz, em que os resultados do ensaio T30A-i (“-i” - superfície inversa”) encontram-se mais à esquerda. Isto acontece devido ao facto de existirem pequenas aberturas nos tabuleiros, ou seja quando o tabuleiro está com a face “normal” em contacto com o pavimento as aberturas estão tapadas pelo próprio pavimento e não estão diretamente expostas às ondas sonoras (Fig. 4.6), mas se a posição do tabuleiro for ao contrário, as aberturas estão diretamente expostas existindo uma caixa-de-ar até chegar ao pavimento (material refletor), que poderia funcionar como ressoador. Porém, tal como a amostra T20A, as pequenas aberturas talvez não funcionem como ressoadores (quando os tabuleiros se encontram sobre material refletor) e fazem com que os resultados do ensaio T30A-n (“-n” - superfície normal”) estejam mais à direita dos resultados do ensaio T30A-i (“-i” - superfície inversa”).

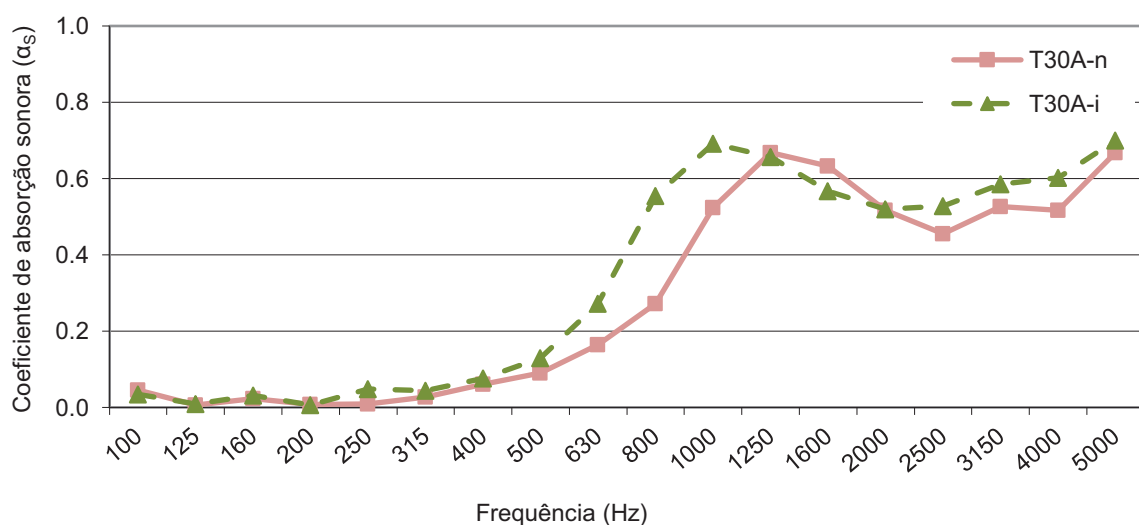


Fig. 5.3 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

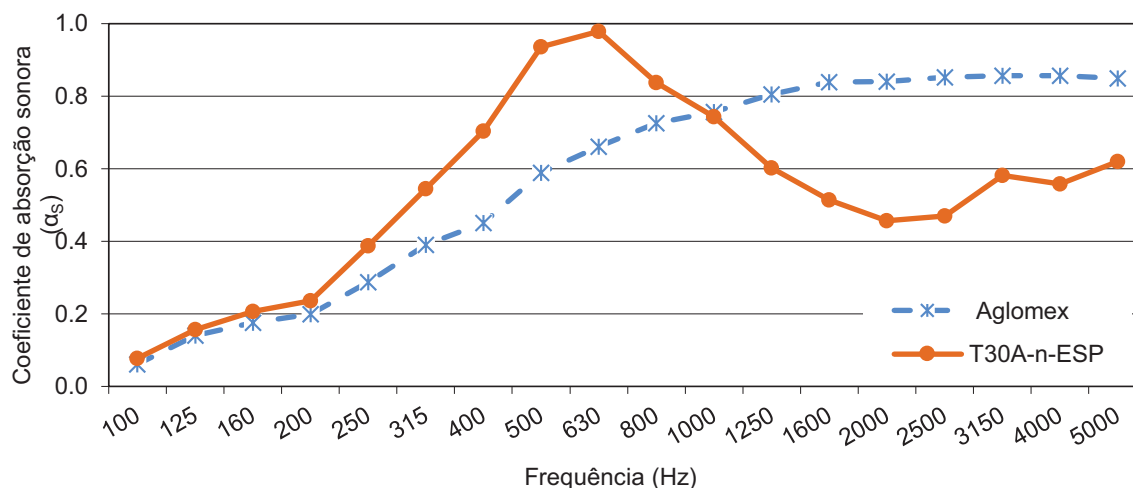


Fig. 5.4 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) sobre as placas de espuma *aglomex* (“ESP”) de 30 mm e os resultados obtidos apenas com estas placas.

Quadro 5.4 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) sobre as placas de espuma *aglomex* (“ESP”) de 30 mm e dos resultados obtidos apenas com estas placas.

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		A_{obj} (m ²)		α_s	
	Aglomex	T30A-n-ESP	T30A-n-ESP	Aglomex	T30A-n-ESP	
100	0,51	0,73	0,007	0,06	0,08	
125	1,19	1,49	0,014	0,14	0,16	
160	1,47	1,97	0,018	0,18	0,21	
200	1,68	2,24	0,020	0,20	0,24	
250	2,42	3,69	0,034	0,29	0,39	
315	3,27	5,17	0,047	0,39	0,54	
400	3,78	6,69	0,061	0,45	0,70	
500	4,95	8,88	0,081	0,59	0,94	
630	5,55	9,29	0,084	0,66	0,98	
800	6,10	7,95	0,072	0,73	0,84	
1000	6,36	7,07	0,064	0,76	0,74	
1250	6,76	5,72	0,052	0,81	0,60	
1600	7,05	4,88	0,044	0,84	0,51	
2000	7,06	4,34	0,039	0,84	0,46	
2500	7,16	4,46	0,041	0,85	0,47	
3150	7,20	5,53	0,050	0,86	0,58	
4000	7,19	5,30	0,048	0,86	0,56	
5000	7,13	5,88	0,053	0,85	0,62	

Como esta amostra tinha as pequenas aberturas, tal como a amostra T20A, e como elas não funcionam como ressoadores (quando os tabuleiros estavam sobre material refletor) na superfície normal como se esperaria, testou-se a superfície normal da amostra T30A sobre as placas de *Agglomex* de 30 mm (material absorvente) para ver se as aberturas tinham um efeito positivo acusticamente, estando os resultados apresentados nas Fig. 5.4 e 5.5. Analisando essas figuras, pode-se ver que nas frequências médias existe um pico mais acentuado podendo-se tirar a conclusão que as pequenas aberturas dos tabuleiros talvez funcionem como ressoadores (atuam nas médias frequências) na superfície normal mas sendo colocadas sobre um material absorvente.

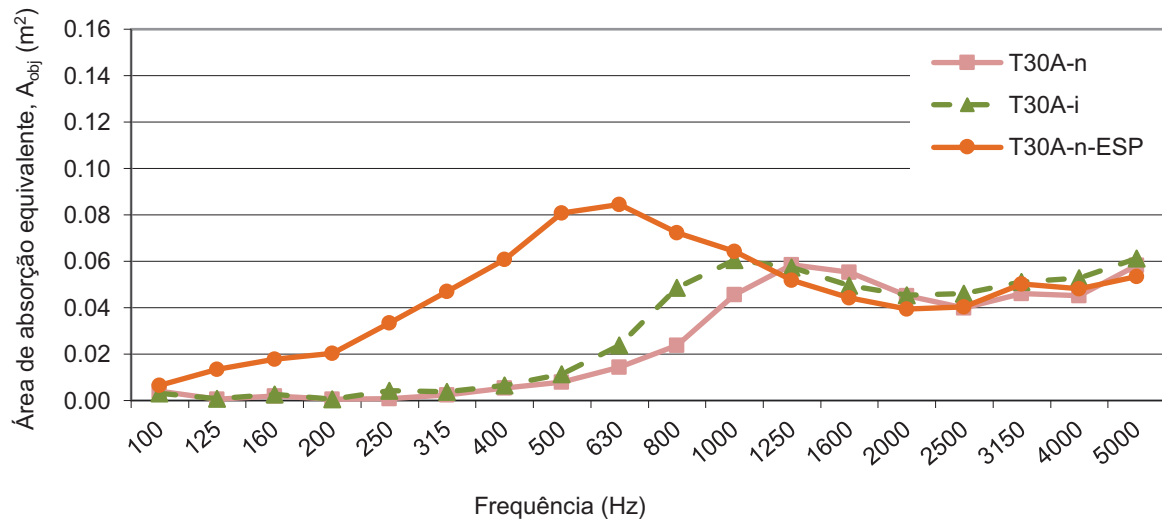


Fig. 5.5 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) e à amostra T30A sobre as placas de espuma *aglomex* (“ESP”) de 30 mm.

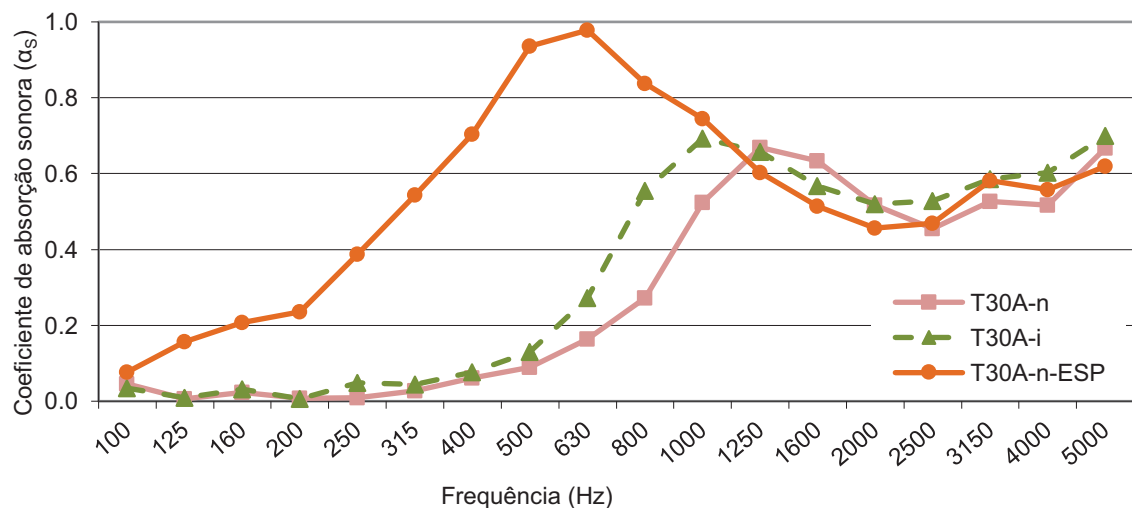


Fig. 5.6 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) e à amostra T30A sobre as placas de espuma *aglomex* (“ESP”) de 30 mm.

Analisando os três ensaios à amostra T30A (Fig. 5.5 e Fig. 5.6) pode-se observar que a amostra sendo colocada sobre placas *aglomex* de 30 mm (superfície absorvente) tem um efeito muito melhor nas frequências graves e médias, ou seja as pequenas aberturas têm o efeito que era esperado. Relativamente às frequências agudas, os resultados dos três ensaios não são muito diferentes. Também se pode observar que a partir da frequência 1250 Hz os resultados da área de absorção sonora equivalente de cada elemento e o coeficiente de absorção sonora da amostra T30A-n-ESP descem para valores aproximados aos do ensaio T30A-n, onde mais uma vez se pode ver que essas aberturas talvez funcionem como ressoadores (quando os tabuleiros se encontram sobre material absorvente), sendo que estes apenas atuam nas médias frequências e é exatamente isso que acontece.

5.1.2.2. NRC e α_w

No Quadro 5.5 apresentam-se os resultados obtidos para a amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora.

Os tabuleiros para 30 ovos com pequenas aberturas (T30A) têm valores baixos relativamente ao NRC e α_w quando ensaiados pela superfície “normal” e “inversa”, pelo que estas disposições não são das melhores sendo o objetivo de absorver o som. Porém, quando ensaiado pela superfície “normal” mas sendo os tabuleiros colocadas sobre um material absorvente (neste caso foi utilizado placas de espuma *aglomex* de 30 mm) os valores dos parâmetros NRC e α_w são muito melhores, podendo esta ser uma boa disposição dos tabuleiros a serem colocados.

Quadro 5.5 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) exposta pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), da amostra T30A sobre as placas de espuma *aglomex* de 30 mm e do *aglomex* isolado.

Parâmetro	Amostra			
	T30A-n	T30A-i	T30A-n-ESP	<i>aglomex</i>
NRC	0,30	0,35	0,60	0,60
α_w	0,20 (H)	0,20 (H)	0,55 (L)	0,55 (H)
Classe de absorção	E	E	D	D

5.1.3. AMOSTRA T30

5.1.3.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra T30 é constituída por tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos emprestados pela empresa *Ovorocha-Vasco Alves Rocha & Filhos-Comércio e Produção de Ovos* (Ovar). Nesta amostra foram ensaiadas as duas superfícies de exposição ao som: normal (“-n”) e inversa (“-i”).

No Quadro 5.6 apresentam-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra T30 para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.7) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.8).

Quadro 5.6 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)		α_s	
	T30-n	T30-i		T30-n	T30-i	T30-n	T30-i
100	0,34	0,41	21	0,003	0,003	0,03	0,04
125	0,04	0,12	181	0,000	0,001	0,00	0,01
160	0,47	0,46	-2	0,004	0,004	0,04	0,04
200	0,34	0,44	28	0,003	0,004	0,03	0,04
250	0,57	0,28	-50	0,005	0,002	0,05	0,03
315	0,75	0,46	-38	0,006	0,004	0,07	0,04
400	1,17	1,04	-11	0,010	0,009	0,11	0,10
500	2,47	2,56	4	0,021	0,021	0,23	0,24
630	5,24	6,66	27	0,044	0,056	0,49	0,62
800	6,74	7,57	12	0,056	0,063	0,63	0,71
1000	7,03	7,42	5	0,059	0,062	0,66	0,69
1250	6,09	6,02	-1	0,051	0,050	0,57	0,56
1600	5,31	5,19	-2	0,044	0,043	0,50	0,48
2000	4,64	4,98	8	0,039	0,042	0,43	0,47
2500	4,53	5,55	23	0,038	0,046	0,42	0,52
3150	5,04	6,20	23	0,042	0,052	0,47	0,58
4000	5,71	6,73	18	0,048	0,056	0,53	0,63
5000	7,50	7,61	1	0,062	0,063	0,70	0,71

Pode-se observar nas Fig. 5.7 e 5.8, que para a amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) tanto na superfície normal (“-n”) como na inversa (“-i”), tal como as amostras T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) e T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas) não existe praticamente absorção nas frequências graves e que há diferenças nos resultados realizados à superfície normal e inversa, nas frequências médias e agudas. Estas diferenças poderiam ser devido à diferença de área exposta às ondas sonoras mas neste caso as áreas da superfície normal e inversa são, aparentemente, iguais e portanto as diferenças devem-se, talvez, ao facto de a superfície inversa ser mais rugosa.

Verifica-se, pelas Fig. 5.7 e 5.8, que os resultados do ensaio à amostra T30A-i (“-i” - superfície inversa”) relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora, são um pouco superiores na maioria das frequências e isto deve-se, talvez, à rugosidade (Fig. 4.8 e 4.9) que existe na superfície inversa do tabuleiro, isto é sendo a superfície mais rugosa a energia das ondas sonoras dissipa-se mais rapidamente, tal como acontece nas amostras T20A e T30A.

Relativamente à translação que se verifica nas amostras T20A e T30A, nesta não acontece, isto porque a única diferença entre as duas faces é mesmo apenas a rugosidade que muda.

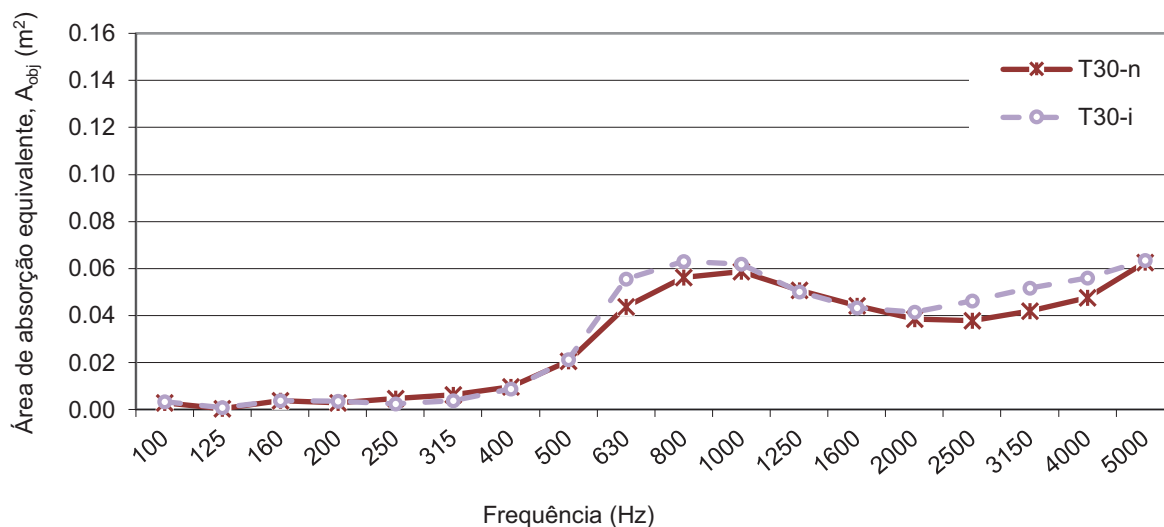


Fig. 5.7 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

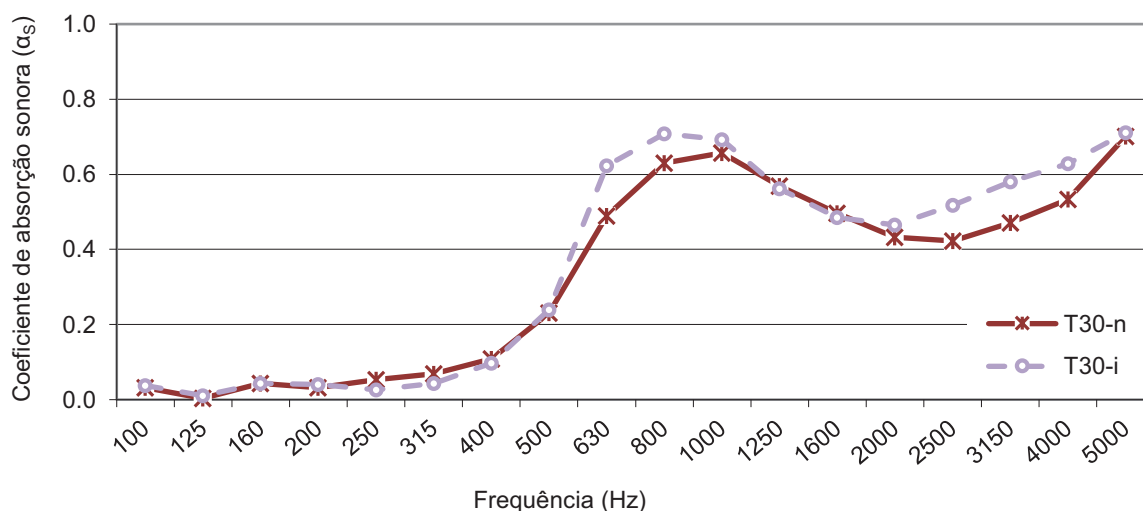


Fig. 5.8 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

5.1.3.2. NRC e α_w

No Quadro 5.7 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora.

O tabuleiro de 30 ovos (T30) tem valores baixos relativamente ao NRC e α_w , mas esta é a amostra que apresenta melhores resultados relativamente às amostras T20A e T30A (excluindo a amostra T30A-n-ESP). Portanto das três amostras (excluindo a amostra T30A-n-ESP), a amostra T30 é o melhor tipo de tabuleiro para ovos para usar com o objetivo de absorver o som.

Quadro 5.7 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra T30 (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Parâmetro	Amostra	
	T30-n	T30-i
NRC	0,35	0,40
α_w	0,30 (H)	0,30 (H)
Classe de absorção sonora	D	D

5.1.4. AMOSTRA C12A

5.1.4.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra C12A é constituída por caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas fornecidos pela empresa *Casa do Aido – Bernardino de Almeida e Costa & Filhos SA* (São Pedro do Sul). Nesta amostra foram ensaiadas as superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) quando as caixas se encontravam abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).

Quadro 5.8 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)				
	C12A-a-n	C12A-a-i	C12A-f-n	C12A-f-i	C12A-a-n-ST
100	0,43	0,30	0,48	0,43	0,26
125	0,09	0,15	0,88	0,52	0,25
160	0,40	0,22	0,76	0,62	0,68
200	0,22	0,06	1,27	1,01	0,45
250	0,11	0,63	1,88	1,82	0,64
315	0,40	1,14	4,52	4,12	0,76
400	0,77	1,56	6,09	6,40	1,18
500	1,26	3,09	6,99	7,31	2,44
630	1,91	5,28	6,94	6,64	4,57
800	3,34	5,94	5,30	4,90	6,93
1000	7,12	5,85	3,98	3,97	6,58
1250	7,28	5,25	3,49	4,44	5,01
1600	7,08	5,43	3,03	4,60	4,43
2000	6,44	7,02	2,51	4,95	4,00
2500	5,39	6,65	2,37	4,08	3,49
3150	4,71	6,86	2,81	4,39	3,57
4000	5,02	5,96	2,43	3,48	4,33
5000	5,76	5,54	2,13	2,91	4,07

Os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra C12A relativamente à área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T) apresentam-se no Quadro 5.8, no Quadro 5.9 apresentam-se os resultados da área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.11) e no Quadro 5.10 apresentam-se os resultados do coeficiente de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.9, Fig. 5.10 e Fig. 5.15).

Quadro 5.9 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

Frequência (Hz)	A_{obj} (m ²)				
	C12A-a-n	C12A-a-i	C12A-f-n	C12A-f-i	C12A-a-n-ST
100	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001
125	0,001	0,001	0,004	0,003	0,001
160	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003
200	0,001	0,000	0,006	0,005	0,002
250	0,001	0,004	0,009	0,009	0,003
315	0,002	0,007	0,023	0,021	0,004
400	0,005	0,009	0,031	0,032	0,006
500	0,007	0,018	0,035	0,037	0,012
630	0,011	0,031	0,035	0,034	0,023
800	0,020	0,035	0,027	0,025	0,035
1000	0,042	0,034	0,020	0,020	0,033
1250	0,043	0,031	0,018	0,022	0,025
1600	0,042	0,032	0,015	0,023	0,022
2000	0,038	0,041	0,013	0,025	0,020
2500	0,032	0,039	0,012	0,021	0,018
3150	0,028	0,040	0,014	0,022	0,018
4000	0,030	0,035	0,012	0,018	0,022
5000	0,034	0,033	0,011	0,015	0,021

Quadro 5.10 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

Frequência (Hz)	α_s				
	C12A-a-n	C12A-a-i	C12A-f-n	C12A-f-i	C12A-a-n-ST
100	0,04	0,03	0,07	0,07	0,04
125	0,01	0,01	0,14	0,08	0,04
160	0,04	0,02	0,12	0,10	0,10
200	0,02	0,01	0,20	0,16	0,06
250	0,01	0,06	0,29	0,28	0,09
315	0,04	0,10	0,71	0,63	0,11
400	0,07	0,14	0,95	0,98	0,17
500	0,11	0,28	1,09	1,13	0,34
630	0,17	0,48	1,08	1,02	0,64
800	0,30	0,54	0,83	0,75	0,98
1000	0,64	0,53	0,62	0,61	0,93
1250	0,65	0,48	0,54	0,68	0,71
1600	0,63	0,49	0,47	0,71	0,62
2000	0,57	0,64	0,39	0,76	0,56
2500	0,48	0,60	0,37	0,63	0,49
3150	0,42	0,62	0,44	0,68	0,50
4000	0,45	0,54	0,38	0,54	0,61
5000	0,51	0,50	0,33	0,45	0,57

Na Fig. 5.9 e Fig. 5.11 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados à amostra C12A exposta pela superfície normal (“-n”) e superfície inversa (“-i”) quando as caixas se encontravam abertas. Pela análise das figuras, pode-se observar que existem diferenças significativas, nas frequências médias e agudas, entre os resultados dos ensaios às superfícies normal e à inversa, enquanto que nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora nas duas superfícies. Neste tipo de caixas, não é fácil avaliar os motivos pela qual os resultados variam isto porque estas caixas têm configurações muito diferentes em ambos os lados (Fig. 4.10), sendo mais rugosas pela parte normal quando as caixas se encontram abertas. Porém, pela análise das Fig. 5.9 e 5.11, pode-se observar que os resultados do ensaio à superfície inversa, além de crescer mais rapidamente, também oscila mais vezes. O facto de crescer mais rapidamente e variar, deve-se talvez à forma mais robusta que a caixa apresenta na superfície inversa (Fig. 4.10). Na superfície “normal”, o pico que existe na frequência de 1250 Hz deve-se talvez às saliências (onde se encontram as pequenas aberturas) que a

caixa possui na sua constituição (Fig. 4.10), porém não é um valor muito elevado talvez porque o material do pavimento da câmara reverberante é refletor.

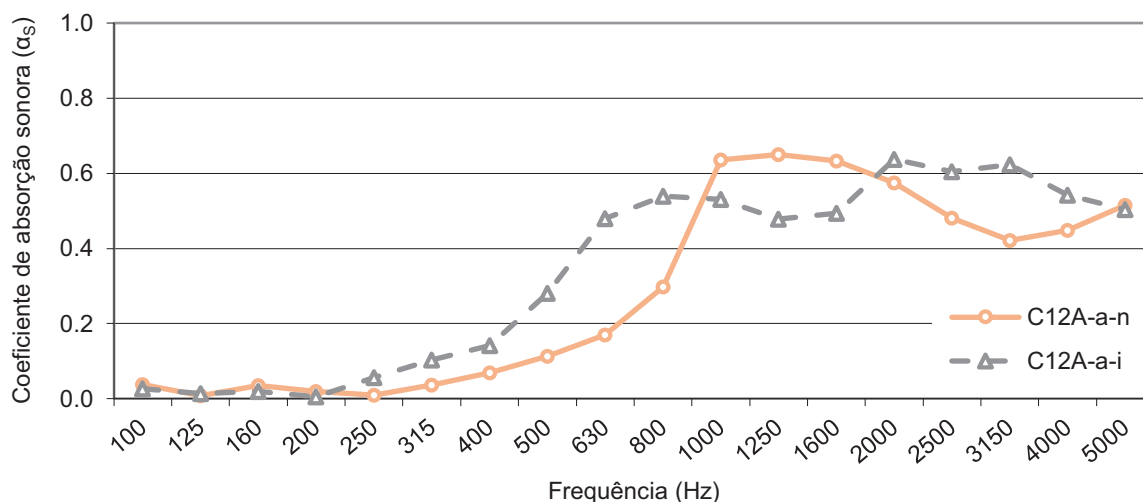


Fig. 5.9 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e expostas pelas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

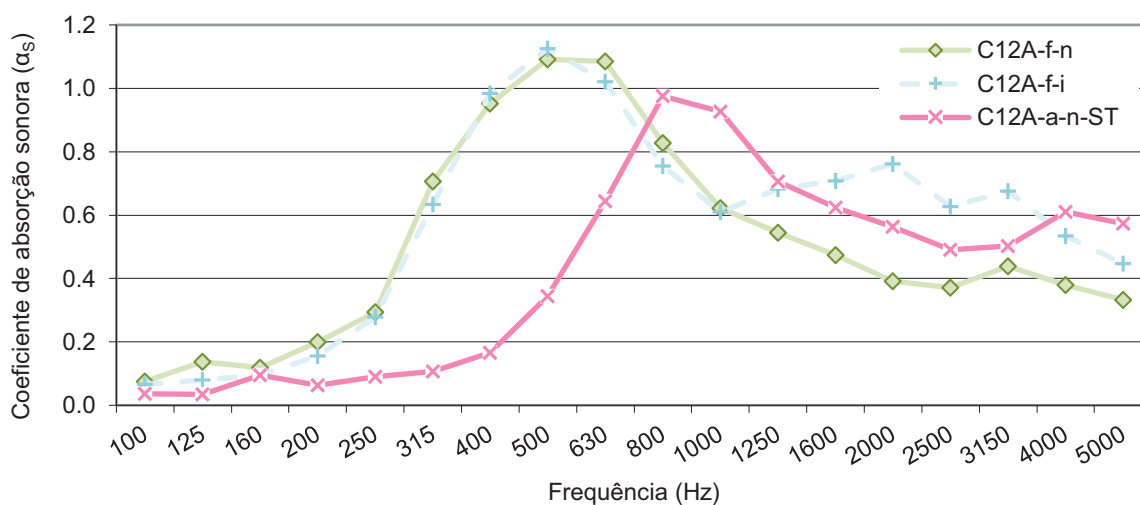


Fig. 5.10 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

Nas Fig. 5.10 e 5.11 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados à amostra C12A pela superfície normal (“-n”) e inversa (“-i”) quando as caixas se encontravam fechadas e os resultados do ensaio realizados às caixas sem as tampas.

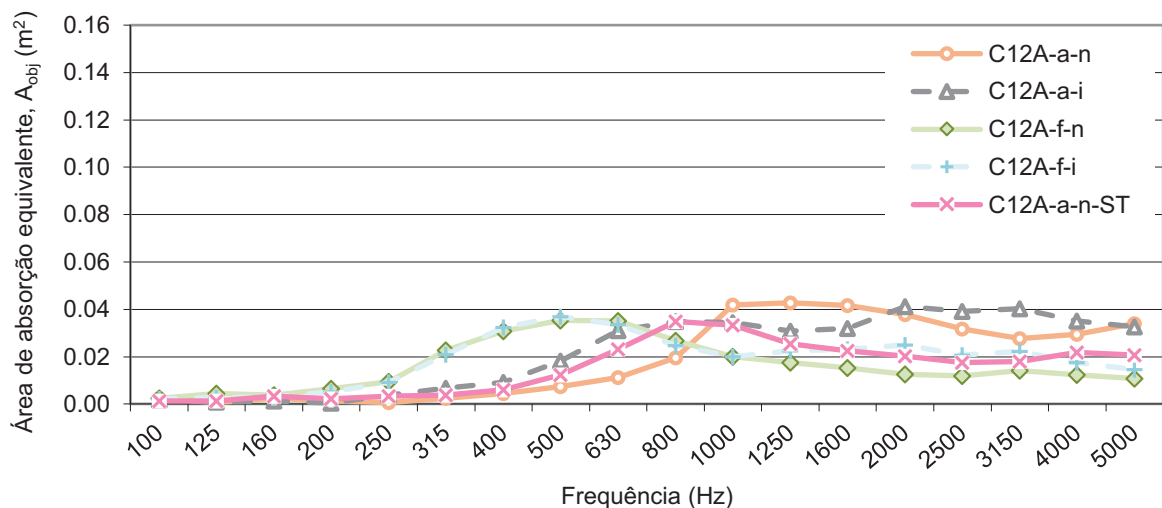


Fig. 5.11 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).



Fig. 5.12 – Pormenor da caixa de 12 ovos fechada (C12A-f) quando a superfície normal com pequenas aberturas estão voltadas para cima [foto da autora].



Fig. 5.13 e 5.14 – Pormenor da montagem das caixa de 12 ovos fechada (C12A-f) quando a superfície normal com pequenas aberturas (dit.) e a superfície inversa (esq.) estão voltadas para cima [fotos da autora].

Analisando apenas os resultados do ensaio realizados à superfície “normal” e “inversa” quando as caixas se encontravam fechadas através da Fig. 5.10, pode-se observar que o coeficiente de absorção sonora medido (α_s) ultrapassa a unidade na frequência dos 500 e dos 630 Hz, o que na realidade não é fisicamente possível para α (valor teórico físico) e isto acontece porque apenas se está a contabilizar a área em projeção horizontal, ou seja além de não se estar a contabilizar a área real incluindo o relevo

das caixas (na superfície inversa) também não se está a contabilizar a área lateral dos bordos das amostras (na superfície inversa e normal) que é significativa devido à altura das caixas fechadas (Fig. 5.12).

O motivo pela qual existe um pico que se encontra na frequência dos 500 Hz (tanto na amostra C12A-f-n como na C12A-f-i) é devido, principalmente à altura dos elementos da amostra (Fig. 5.13 e 5.14). Pela análise da Fig. 5.10, também se pode observar que existem diferenças significativas entre os resultados dos ensaios às caixas fechadas quando a superfície normal e inversa está voltada para cima principalmente a partir da frequência dos 1000 Hz, enquanto que nas frequências graves e médias não existem praticamente diferenças. Estas diferenças devem-se talvez ao facto de na superfície “inversa” existir relevo enquanto que a face quando a superfície “normal” está voltada para cima é lisa.

Os resultados do ensaio das caixas sem tampas, que se podem observar Fig. 5.10, possuem um pico na frequência dos 800 Hz e a partir daí os valores diminuem até à frequência dos 2500 Hz. O pico deve-se talvez ao facto das saliências possuírem uma abertura e funcionarem como ressoadores quando são colocadas sobre as tampas.

Comparando os resultados das três amostras da Fig. 5.10 pode-se constatar que o pico dos resultados dos ensaios da caixa sem tampa encontra-se numa frequência média mais alta do que nas outras amostras, ou seja a frequência de maior eficiência da amostra C12A-a-n-ST é mais alta que as amostras C12A-f-n e C12A-f-i. É importante salientar que nestes três ensaios apresentados na Fig. 5.10 os resultados já apresentam alguma absorção sonora nas baixas frequências, sendo maiores os valores nos ensaios realizados às caixas fechadas.

Comparando a evolução dos resultados das Fig. 5.10 e 5.11, verifica-se que o pico acentuado nos 500 Hz que existe na amostra C12A-f-n e C12A-f-i e o pico nos 800 Hz da amostra C12A-a-n-ST relativamente aos coeficientes de absorção sonora, praticamente não existe relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento. Isto deve-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes, logo os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si.

Na Fig. 5.15 são apresentados os resultados do coeficiente de absorção sonora dos cinco ensaios realizados à amostra C12A. Pode-se ver que o ensaio à amostra C12A-f-i é o que tem melhores resultados porque a partir da frequência dos 315 Hz até à frequência dos 3150 Hz o coeficiente de absorção sonora é superior a 0,60.

Comparando a amostra C12A-a-n-ST e C12A-a-n, através da Fig. 5.15, verifica-se que a amostra C12A-a-n-ST possui o pico na frequência dos 800 Hz enquanto que o pico da amostra C12A-a-n encontram-se na frequência dos 1250 Hz, esta diferença deve-se talvez ao facto da amostra C12A-a-n-ST ter as saliências com as pequenas aberturas sob material absorvente e da caixa ao estar sobreposta ter uma altura maior.

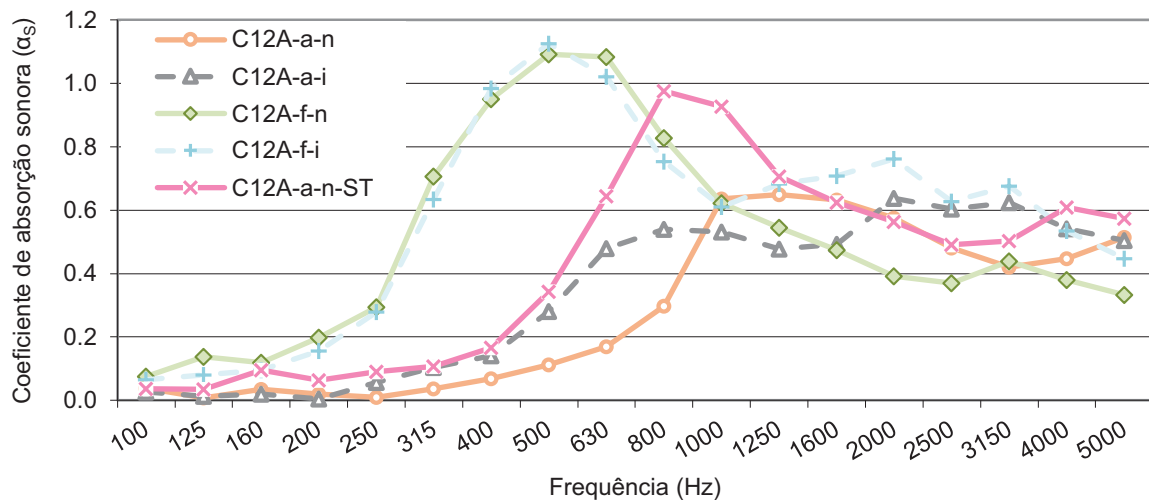


Fig. 5.15 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

5.1.4.2. NRC e α_w

No Quadro 5.11 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora.

A amostra C12A-f-i é a que tem valores superiores relativamente ao NRC e α_w . Portanto com os resultados do Quadro 5.11 e Fig. 5.15, chega-se à conclusão que a disposição ensaiada para melhor eficiência da caixa de 12 ovos (C12A) relativamente à absorção sonora será utilizar a caixa fechada com a superfície inversa voltada para cima.

Quadro 5.11 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra C12A (caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”) e à amostra C12A pela superfície normal quando as caixas de encontram abertas (“-a”) e sem tampas (“-ST”).

Parâmetro	Amostra				
	C12A-a-n	C12A-a-i	C12A-f-n	C12A-f-i	C12A-a-n-ST
NRC	0,30	0,35	0,65	0,70	0,50
α_w	0,20 (M)	0,30 (H)	0,45 (L)	0,65 (L)	0,35 (M)
Classe de absorção sonora	E	D	D	C	D

5.1.5. AMOSTRA C12

5.1.5.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra C12 é constituída por caixas de celulose moldada para 12 ovos fornecidas pela empresa *Ovo Mirandês -Martins & Geraldês, Lda.* (Miranda do Douro). Nesta amostra foram ensaiadas as superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontravam abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).

Os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra C12A para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T) e a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.16) apresentam-se no Quadro 5.12 e no Quadro 5.13 apresenta-se os resultados do coeficiente de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.17).

Quadro 5.12 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T) e área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)			A_{obj} (m ²)		
	C12-a-n	C12-a-i	C12-f-n	C12-a-n	C12-a-i	C12-f-n
100	0,49	0,33	0,45	0,003	0,002	0,002
125	0,36	0,36	0,55	0,002	0,002	0,003
160	0,31	0,36	0,74	0,002	0,002	0,004
200	0,31	0,20	0,69	0,002	0,001	0,003
250	0,47	0,46	0,89	0,003	0,003	0,004
315	0,39	0,35	1,29	0,002	0,002	0,006
400	0,53	0,84	2,07	0,003	0,005	0,010
500	1,14	1,77	3,72	0,007	0,011	0,018
630	1,73	3,51	4,80	0,011	0,022	0,023
800	2,75	5,16	5,41	0,017	0,032	0,026
1000	6,32	7,30	5,05	0,040	0,046	0,025
1250	6,93	5,95	4,71	0,043	0,037	0,023
1600	7,21	5,46	3,99	0,045	0,034	0,019
2000	6,61	6,44	3,19	0,041	0,040	0,016
2500	5,81	6,70	3,29	0,036	0,042	0,016
3150	5,22	6,42	4,17	0,033	0,040	0,020
4000	4,67	6,12	3,97	0,029	0,038	0,019
5000	5,37	6,46	3,76	0,034	0,040	0,018

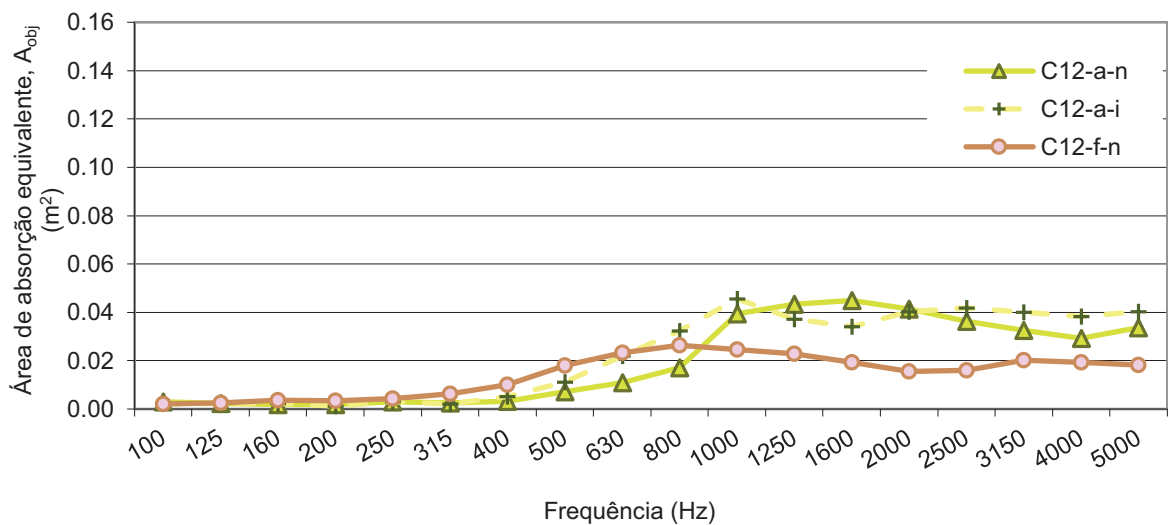


Fig. 5.16 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal ("-n") e inversa ("-i"), quando as caixas se encontram abertas ("-a") e fechadas ("-f") (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

Quadro 5.13 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal ("-n") e inversa ("-i"), quando as caixas se encontram abertas ("-a") e fechadas ("-f").

Frequência (Hz)	α_s			Frequência (Hz)	α_s		
	C12-a-n	C12-a-i	C12-f-n		C12-a-n	C12-a-i	C12-f-n
100	0,05	0,03	0,07	800	0,26	0,49	0,80
125	0,03	0,03	0,08	1000	0,59	0,69	0,74
160	0,03	0,03	0,11	1250	0,65	0,57	0,69
200	0,03	0,02	0,10	1600	0,67	0,52	0,59
250	0,04	0,04	0,13	2000	0,62	0,61	0,47
315	0,04	0,03	0,19	2500	0,54	0,64	0,48
400	0,05	0,08	0,30	3150	0,49	0,61	0,61
500	0,11	0,17	0,55	4000	0,44	0,58	0,58
630	0,16	0,33	0,71	5000	0,50	0,61	0,55

Na Fig. 5.16 e Fig. 5.17 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados à amostra C12. Pode-se observar que, tal como as amostras anteriores, existem nas frequências médias e altas, diferenças entre a exposição na parte normal ("-n") e inversa ("-i") da amostra. O motivo pela qual existem estas diferenças não é fácil de entender porque existem muitas diferenças na parte normal e inversa e não se tem informação suficiente para se poder fazer uma análise mais complexa. Porém, pode ver-se que nas altas frequências os resultados apesar de oscilarem mais na superfície inversa é em pequenas variações e os seus valores são mais elevados em praticamente todas as frequências e isso deve-se talvez ao facto da superfície inversa ser mais robusta (com mais relevo). Relativamente ao facto dos resultados da parte inversa estarem mais à esquerda (aumentarem mais rapidamente) deve-se talvez ao facto das aberturas da caixa se encontrarem tapadas pelo pavimento da câmara reverberante

R1, tal como acontecia nas amostras T20A (tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas) e T30A (tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas).

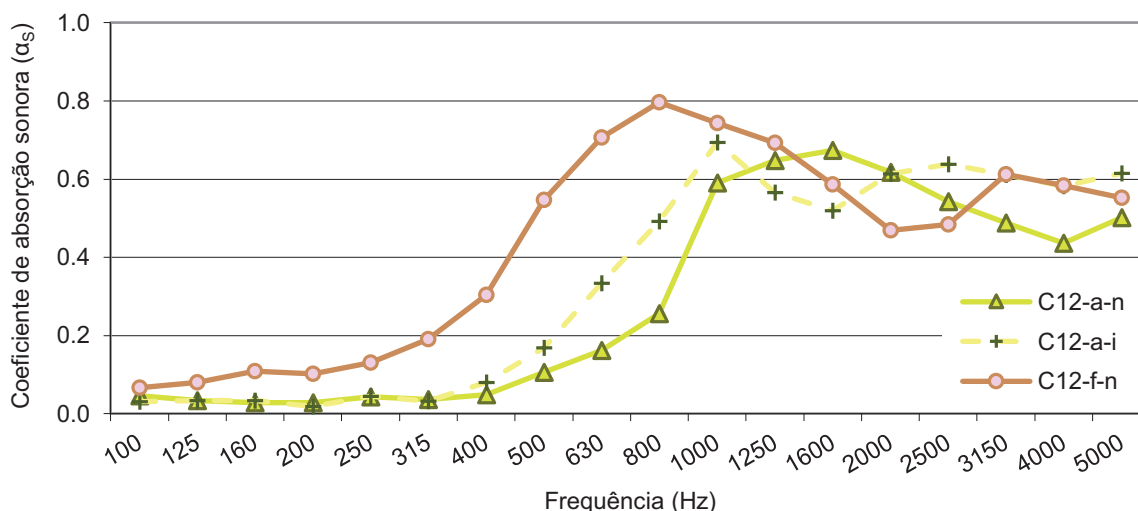


Fig. 5.17 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).

Tal como nos resultados das amostras anteriores, pode ver-se pela Fig. 5.17 que existe um pico nos resultados do ensaio da amostra C12-f-n. Este pico deve-se ao facto de na tampa da caixa existirem umas aberturas e como as caixas se encontram fechadas e o material da caixa é absorvente então talvez funcionem como ressoadores, tendo como frequência de eficácia máxima os 800 Hz. Porém, este pico não é tão acentuado como nos outros casos e isto deve-se talvez ao facto das aberturas serem muito grandes.

Analisando a Fig. 5.16, pode-se ver que o pico que existe na Fig. 5.17 na amostra C12-f-n não é assim tão elevado, sendo até mais pequeno que os picos das amostras C12-a-n e C12-a-i relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento. Isto deve-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes, logo os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si.

Comparando os resultados dos três ensaios da amostra C12 (Fig. 5.17) pode ver-se que nas frequências graves não existe praticamente absorção tanto na exposição à superfície “normal” como na “inversa” quando as caixas se encontram abertas, porém na amostra com as caixas fechadas já existe absorção sonora apesar de ser mínima. Também se pode ver que os resultados referentes ao ensaio com as caixas fechadas são melhores nas médias frequências e crescem mais rapidamente e apesar de na Fig. 5.16 não se observar o mesmo (devido ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes) na amostra C12-f-n isso não significa nada.

5.1.5.2. NRC e α_w

No Quadro 5.14 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora. Pode ver-se que a amostra C12-f-n é a que tem valores superiores relativamente ao NRC e α_w . Portanto com os resultados do Quadro 5.14 e Fig. 5.17, chega-se à conclusão que a disposição ensaiada para melhor eficiência da caixa de 12 ovos (C12) relativamente à absorção sonora será ter a caixa fechada com a superfície normal voltada para cima.

Quadro 5.14 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra C12 (caixas de celulose moldada para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”), quando as caixas se encontram abertas (“-a”) e fechadas (“-f”).

Parâmetro	Amostra		
	C12-a-n	C12-a-i	C12-f-n
NRC	0,30	0,35	0,50
α_w	0,20 (M)	0,25 (H)	0,40 (M)
Classe de absorção sonora	E	E	D

5.1.6. AMOSTRA TF39

5.1.6.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra TF39 é constituída por tabuleiros para fruta com 39 cavidades de celulose moldada. Nesta amostra foram ensaiadas as duas superfícies de exposição ao som: normal (“-n”) e inversa (“-i”).

No Quadro 5.15 apresenta-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra TF39 para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.18) e os coeficientes de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.19).

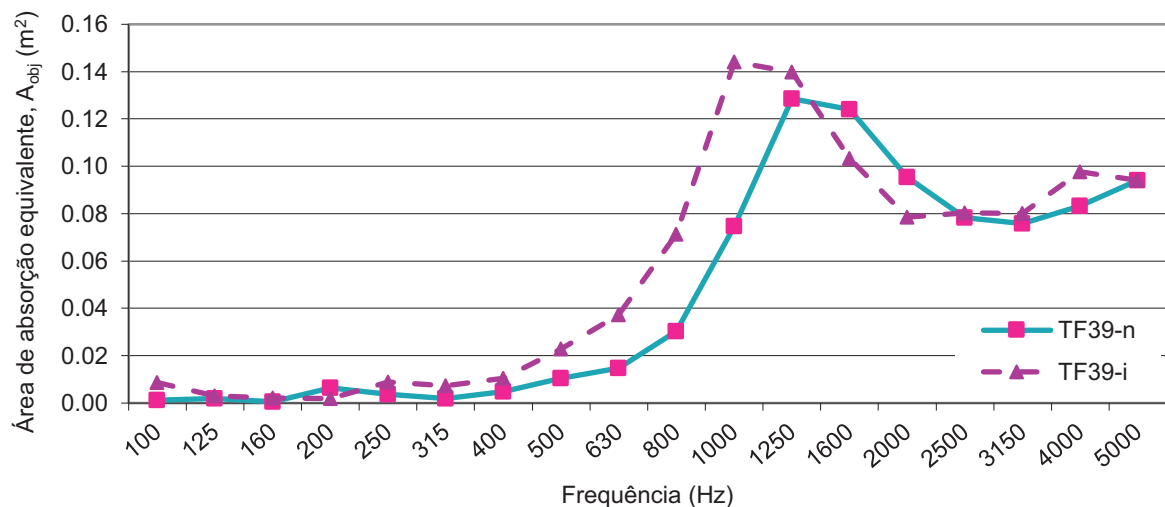


Fig. 5.18 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Na Fig. 5.18 e Fig. 5.19 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios à amostra TF39 relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora, respetivamente. Verifica-se que existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a exposição na superfície “normal” e a “inversa” e nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora. Estas diferenças nas médias e altas frequências devem-se ao facto de a área exposta

às ondas sonoras ser superior na superfície inversa do tabuleiro, tal como se pode observar na Fig. 4.18 e 4.19, isto é, tendo uma maior área exposta a energia das ondas sonoras dissipa-se mais rapidamente.

Quadro 5.15 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)		α_s	
	TF39-n	TF39-i		TF39-n	TF39-i	TF39-n	TF39-i
100	0,06	0,42	609	0,001	0,009	0,01	0,04
125	0,09	0,15	60	0,002	0,003	0,01	0,01
160	0,02	0,10	321	0,000	0,002	0,00	0,01
200	0,31	0,09	-69	0,006	0,002	0,03	0,01
250	0,18	0,42	132	0,004	0,009	0,02	0,04
315	0,09	0,35	277	0,002	0,007	0,01	0,03
400	0,24	0,51	115	0,005	0,011	0,02	0,05
500	0,50	1,10	121	0,010	0,023	0,05	0,11
630	0,71	1,79	151	0,015	0,037	0,07	0,17
800	1,46	3,43	135	0,030	0,071	0,14	0,33
1000	3,58	6,91	93	0,075	0,144	0,35	0,67
1250	6,17	6,71	9	0,129	0,140	0,60	0,65
1600	5,95	4,95	-17	0,124	0,103	0,58	0,48
2000	4,57	3,77	-18	0,095	0,078	0,44	0,37
2500	3,76	3,85	3	0,078	0,080	0,36	0,37
3150	3,64	3,84	5	0,076	0,080	0,35	0,37
4000	4,00	4,68	17	0,083	0,098	0,39	0,45
5000	4,51	4,51	0	0,094	0,094	0,44	0,44

Ao observar os resultados nas frequências médias e agudas da Fig. 5.18 e Fig. 5.19, pode ver-se que na superfície inversa o pico do coeficiente de absorção sonora encontra-se na frequência dos 1000 Hz descendo de seguida para um mínimo na frequência dos 2000 Hz enquanto que o pico na superfície normal se situa na frequência dos 1250 Hz descendo para um mínimo na frequência dos 2500 Hz, ou seja, existe uma translação dos resultados entre as duas faces e sempre com a mesma diferença de frequências. Isto acontece talvez devido ao facto da superfície inversa ter maior relevo (maior área exposta às ondas sonoras).

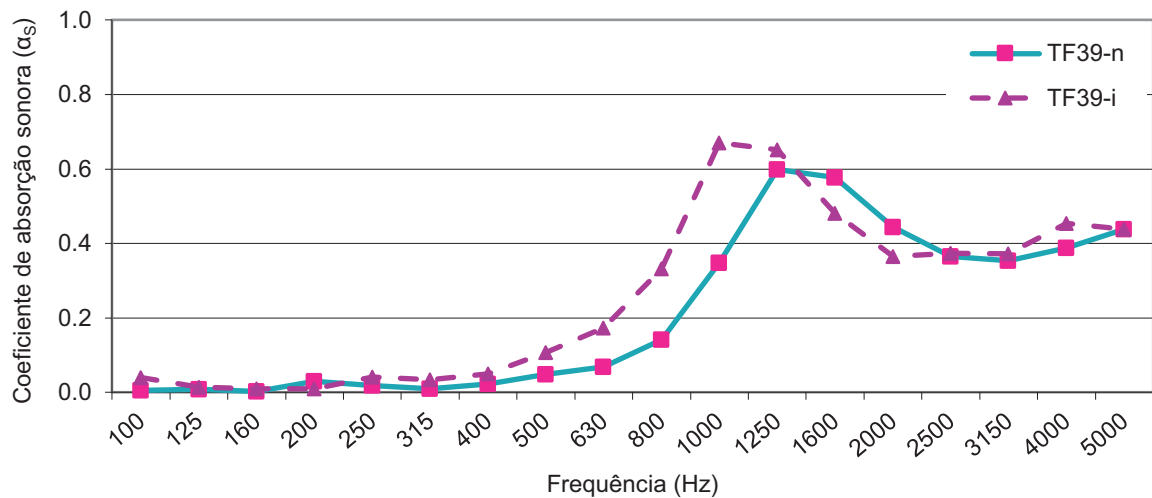


Fig. 5.19 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

5.1.6.2. NRC e α_w

No Quadro 5.7 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora. Os tabuleiros de fruta com 39 cavidades (TF39) têm valores baixos relativamente ao NRC e α_w , pelo que não é um bom tipo de tabuleiro para usar com o objetivo de absorver o som.

Quadro 5.16 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra TF39 (tabuleiros de fruta com 39 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Parâmetro	Amostra	
	TF39-n	TF39-i
NRC	0,20	0,25
α_w	0,10 (H)	0,20 (M)
Classe de absorção sonora	Não classificado	E

5.2. SUPORTES ALVEOLARES DE PLÁSTICO

5.2.1. AMOSTRA CP12

5.2.1.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra CP12 é constituída por caixas de poliestireno (PS) para 12 ovos. Nesta amostra foram ensaiadas as superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”) quando as caixas se encontravam abertas (“-a”)

No Quadro 5.17 apresenta-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra CP12 para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T) e a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.20) e no Quadro 5.18 apresenta-se os resultados do coeficiente de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.21).

Quadro 5.17 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T) e área de absorção equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)	
	CP12-a-n	CP12-a-i		CP12-n	CP12-a-i
100	0,56	0,43	-24	0,004	0,003
125	0,36	0,39	6	0,002	0,003
160	0,12	0,28	129	0,001	0,002
200	0,34	0,31	-9	0,002	0,002
250	0,14	0,32	122	0,001	0,002
315	0,23	0,68	202	0,002	0,005
400	0,27	0,82	204	0,002	0,005
500	0,76	1,48	95	0,005	0,010
630	1,03	1,71	65	0,007	0,011
800	1,77	2,49	41	0,012	0,017
1000	4,17	5,52	32	0,028	0,037
1250	5,24	4,05	-23	0,035	0,027
1600	4,28	4,11	-4	0,029	0,027
2000	3,37	3,90	15	0,022	0,026
2500	3,90	4,78	23	0,026	0,032
3150	6,88	5,58	-19	0,046	0,037
4000	5,16	4,78	-7	0,034	0,032
5000	4,59	4,78	4	0,031	0,032

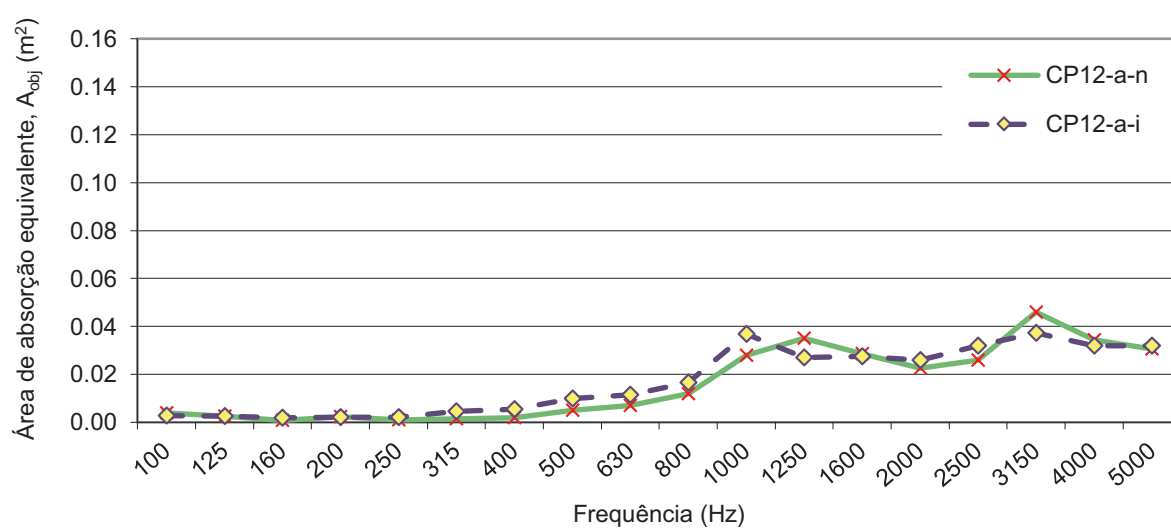


Fig. 5.20 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Quadro 5.18 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal ("-n") e inversa ("-i").

Frequência (Hz)	α_s		Frequência (Hz)	α_s	
	CP12-a-n	CP12-a-i		CP12-a-n	CP12-a-i
100	0,05	0,04	800	0,16	0,23
125	0,03	0,04	1000	0,39	0,52
160	0,01	0,03	1250	0,49	0,38
200	0,03	0,03	1600	0,40	0,38
250	0,01	0,03	2000	0,31	0,36
315	0,02	0,06	2500	0,36	0,45
400	0,02	0,08	3150	0,64	0,52
500	0,07	0,14	4000	0,48	0,45
630	0,10	0,16	5000	0,43	0,45

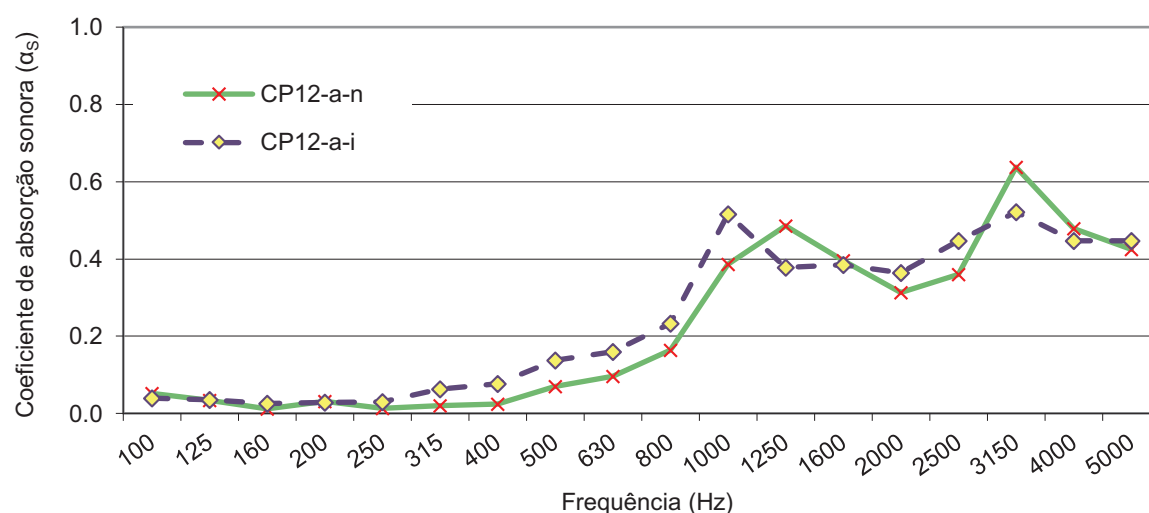


Fig. 5.21 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal ("-n") e inversa ("-i").

Na Fig. 5.20 e Fig. 5.21 encontram-se apresentados graficamente os resultados obtidos dos ensaios à amostra CP12 relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora. Verifica-se que existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a exposição na superfície "normal" e a "inversa" e nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora. Estas diferenças nas médias e altas frequências devem-se talvez ao facto de a superfície inversa possuir maior relevo exposto às ondas sonoras.

5.2.1.2. NRC e α_w

No Quadro 5.19 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora. A amostra CP12 tem valores baixos relativamente ao NRC e α_w , pelo que não é uma boa caixa para usar com o objetivo de absorver o som.

Quadro 5.19 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra CP12 (caixas de plástico para 12 ovos) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Parâmetro	Amostra	
	CP12-a-n	CP12-a-i
NRC	0,20	0,25
α_w	0,15 (H)	0,20 (H)
Classe de absorção sonora	E	E

5.2.2. AMOSTRA TPF24

5.2.2.1. A_T , A_{obj} e α_s

A amostra TPF24 é constituída por tabuleiros de polipropileno (PP) para fruta com 24 cavidades. Nesta amostra foram ensaiadas as duas superfícies de exposição ao som: normal (“-n”) e inversa (“-i”).

No Quadro 5.21 apresenta-se os resultados obtidos dos ensaios efetuados à amostra TPF24 para a área de absorção sonora equivalente total da amostra (A_T), a variação da área de absorção sonora equivalente entre as duas faces (ΔA_T) e a área de absorção sonora equivalente de cada elemento que a constitui (A_{obj}) (Fig. 5.22) e no Quadro 5.20 apresenta-se os resultados do coeficiente de absorção sonora (α_s) (Fig. 5.23).

Quadro 5.20 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	α_s		Frequência (Hz)	α_s	
	TPF24-n	TPF24-i		TPF24-n	TPF24-i
100	0,03	0,05	800	0,27	0,32
125	0,03	0,05	1000	0,26	0,34
160	0,02	0,06	1250	0,33	0,45
200	0,03	0,05	1600	0,46	0,63
250	0,05	0,08	2000	0,63	0,74
315	0,05	0,09	2500	0,63	0,60
400	0,10	0,15	3150	0,44	0,40
500	0,18	0,25	4000	0,34	0,47
630	0,23	0,28	5000	0,33	0,28

Quadro 5.21 – Área de absorção sonora equivalente total (A_T), variação da área de absorção sonora equivalente entre faces (ΔA_T), área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Frequência (Hz)	A_T (m ²)		ΔA_T (%)	A_{obj} (m ²)	
	TPF24-n	TPF24-i		TPF24-n	TPF24-i
100	0,34	0,50	48	0,004	0,006
125	0,30	0,56	86	0,004	0,007
160	0,22	0,62	186	0,003	0,008
200	0,28	0,53	92	0,004	0,007
250	0,52	0,83	58	0,007	0,011
315	0,51	0,92	79	0,007	0,012
400	1,04	1,58	51	0,014	0,020
500	1,94	2,63	36	0,025	0,034
630	2,50	3,04	22	0,032	0,040
800	2,85	3,41	20	0,037	0,044
1000	2,80	3,59	28	0,036	0,047
1250	3,52	4,86	38	0,046	0,063
1600	4,98	6,79	37	0,065	0,088
2000	6,79	7,97	17	0,088	0,103
2500	6,77	6,38	-6	0,088	0,083
3150	4,72	4,25	-10	0,061	0,055
4000	3,64	5,02	38	0,047	0,065
5000	3,57	3,05	-15	0,046	0,040

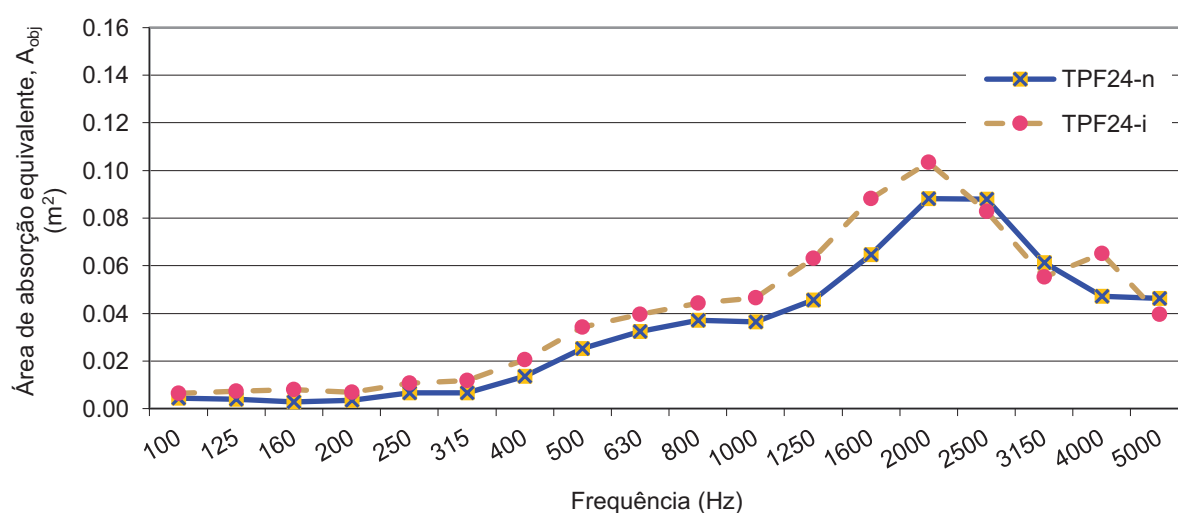


Fig. 5.22 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (amostra constituída por tabuleiros fruta com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

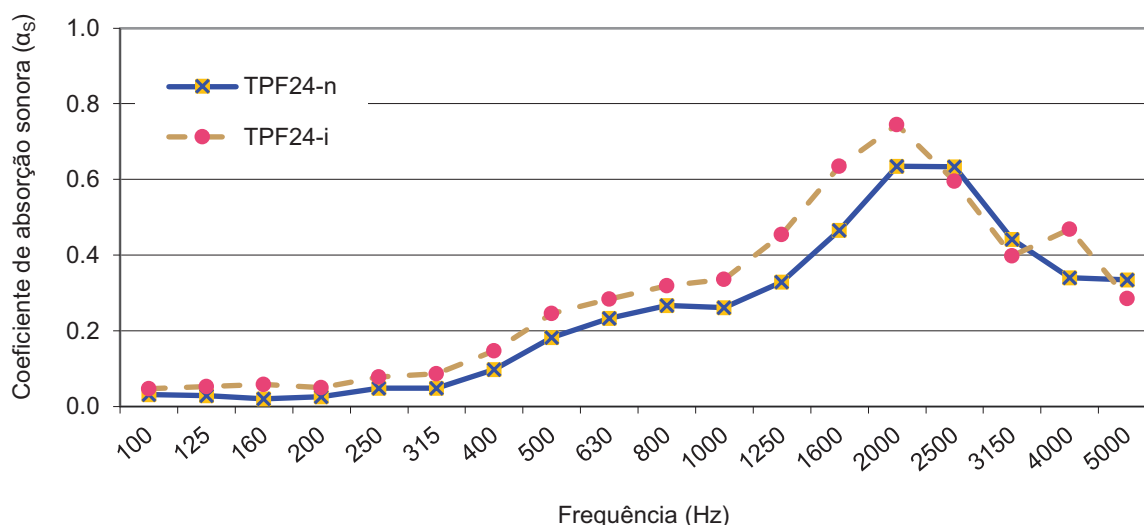


Fig. 5.23 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados à amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) exposto nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Na Fig. 5.22 e Fig. 5.23 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios à amostra TPF24 relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento e ao coeficiente de absorção sonora, respetivamente. Verifica-se que existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a superfície normal e a inversa, e nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora. Estas diferenças nas médias e altas frequências devem-se ao facto da superfície inversa possuir maior relevo exposto às ondas sonoras. Como o material desta amostra é plástico e é muito leve, não se estava à espera que existisse absorção sonora, porém existe e é significativa em algumas frequências. Isso é devido talvez ao facto dos elementos serem muito leves e vibram com as ondas sonoras dissipando assim a sua energia.

5.2.2.2. NRC e α_w

No Quadro 5.22 apresenta-se os resultados obtidos para a amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades) relativamente ao NRC, α_w e classe de absorção sonora. A amostra TPF24 tem valores baixos relativamente ao NRC e α_w , pelo que não é um bom tabuleiro para usar com o objetivo de absorver o som.

Quadro 5.22 – NRC, α_w e classe de absorção sonora da amostra TPF24 (tabuleiros de plástico para fruta, com 24 cavidades) exposta nas superfícies normal (“-n”) e inversa (“-i”).

Parâmetro	Amostra	
	TPF24-n	TPF24-i
NRC	0,25	0,35
α_w	0,25 (M)	0,25 (M)
Classe de absorção sonora	E	E

5.3. SÍNTESE DE RESULTADOS

5.3.1. A_T , A_{obj} e α_s

Nas Fig. 5.24 e 5.25 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios aos tabuleiros para ovos e fruta relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s), respetivamente.

Analisando os resultados dos ensaios realizados aos tabuleiros para ovos (excluindo a amostra T30A-n-ESP (tabuleiros para 30 ovos com pequenas aberturas expostos ao som pela superfície normal sobre placas de espuma *aglomex*)) nas Fig. 5.24 e 5.25 pode ver-se que existe diferença na frequência onde se encontra o valor máximo do coeficiente de absorção sonora e da área de absorção sonora equivalente de cada elemento. Quando os tabuleiros tinham pequenas aberturas (“A”) e estavam com a face normal (“-n”) voltada para cima, o pico encontra-se mais à direita (em frequências mais altas) e tem um valor um pouco inferior do que quando os tabuleiros tinham a face normal voltada para baixo. Isto quer dizer que as aberturas talvez não funcionem como ressoadores como se esperaria e até quando as pequenas aberturas dos tabuleiros estão em contato com o pavimento da câmara reverberante os resultados são um pouco melhores. Mas as pequenas aberturas não funcionam como ressoadores talvez porque o pavimento da câmara reverberante é refletor, tendo-se comprovado isso através da amostra T30A-n-ESP, uma vez que os resultados dos coeficientes de absorção sonora e da área de absorção sonora equivalente de cada elemento foram muito superiores em relação aos valores da amostra T30A-n (tabuleiros para 30 ovos com pequenas aberturas expostos ao som pela superfície normal) e de todas as outras amostras constituídas por tabuleiros para ovos.

Comparando agora os resultados da área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos tabuleiros para os ovos e para a fruta, pode-se observar que os resultados são muito diferentes. Os tabuleiros para fruta atingem o pico em frequências mais altas e com valores superiores aos resultados valores de pico dos tabuleiros para ovos. Em relação ao coeficiente de absorção sonora (α_s) os resultados continuam a ser diferentes e o pico continua a encontrar-se em frequências mais altas mas agora com valores semelhantes aos resultados dos tabuleiros para ovos (excluindo a amostra T30A-n-ESP que tem um pico muito mais acentuado). Portanto, as incoerências que existem entre as Fig. 5.24 e 5.25, relativamente aos coeficientes de absorção sonora e às áreas de absorção sonora equivalente de cada elemento, devem-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes (por exemplo, o tabuleiro para 30 ovos (T30) tem uma área de 0,0879 m² enquanto que o tabuleiro de plástico para fruta com 39 cavidades (TPF39) tem uma área de 0,2101 m²). Logo, os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si.

É importante referir que apesar dos valores do picos dos coeficientes de absorção sonora serem semelhantes, a amostra TPF24-i tem melhor desempenho nas frequências entre 1600 e 2500 Hz e pior desempenho nas frequências entre 500 e 1600 Hz e entre 2500 e 5000 Hz, ao contrário por exemplo da amostra T30-i, que acontece precisamente o contrário. Mas as diferenças entre os valores dos coeficientes de absorção sonora das amostras T30-i (tabuleiros de papel) e TPF24-i (tabuleiros de plástico) nos intervalos de frequências em que a amostra TPF24-i tem melhor desempenho são inferiores às diferenças entre os valores nos intervalos de frequências em que a amostra TPF24-i tem piores resultados. Portanto considera-se que os da amostra T30-i (tabuleiro de papel) (excluindo a amostra T30A-n-ESP que é a amostra com melhores resultados de todas as outras realizadas a tabuleiros) têm melhores resultados que os tabuleiros para fruta.

Em relação aos tabuleiros para fruta, nota-se que os tabuleiros de plástico têm os picos em frequências mais altas que os de celulose moldada. E que os tabuleiros de plástico para fruta expostos pela

superfície inversa (TPF24-i) têm melhores coeficientes de absorção sonora que os tabuleiros de celulose moldada para fruta (TF39) em praticamente todas as frequências.

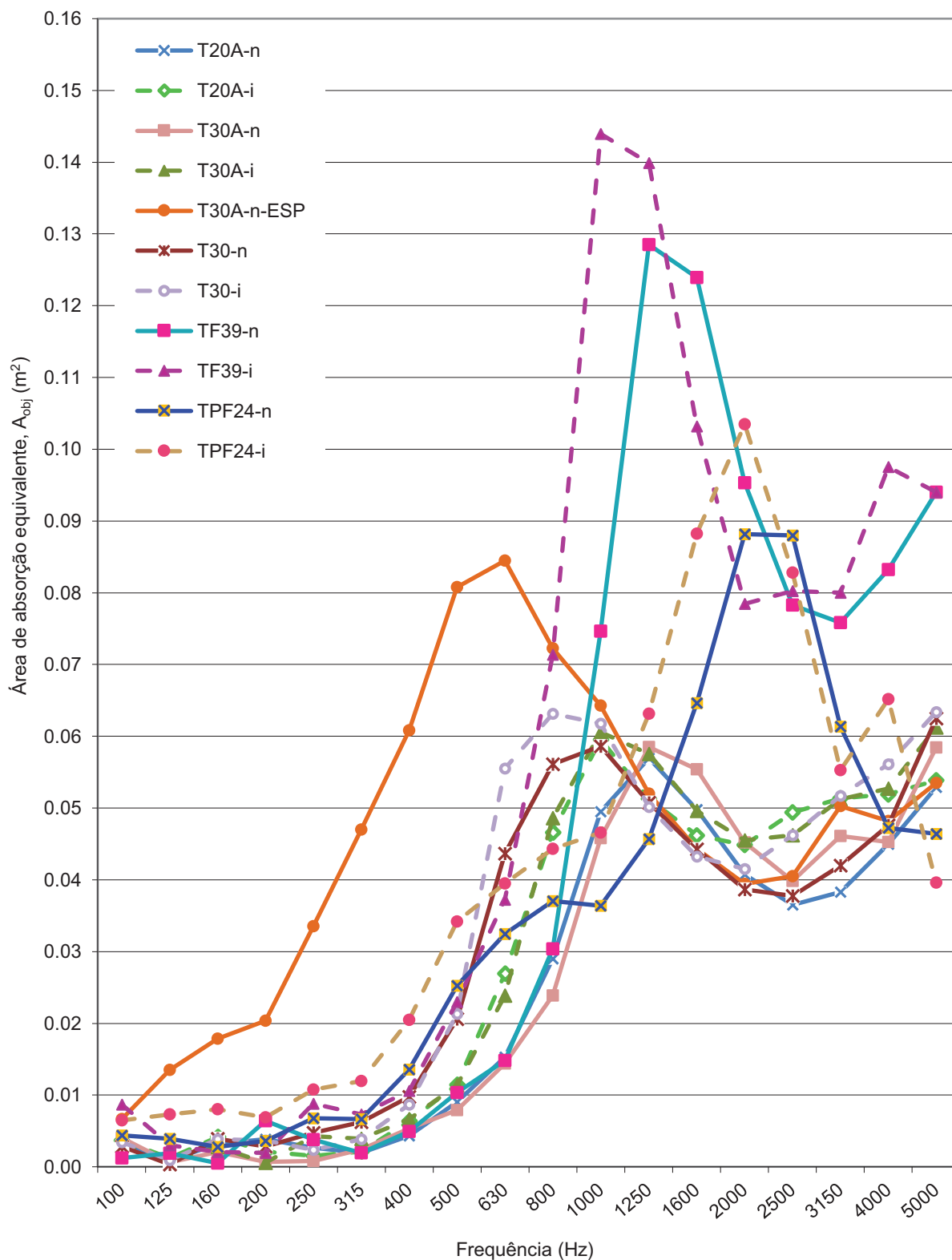


Fig. 5.24 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados aos tabuleiros para ovos e fruta (T – Tabuleiro, A – com pequenas Aberturas, n – superfície normal, i – superfície inversa, ESP – placas de espuma *aglomex*, F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

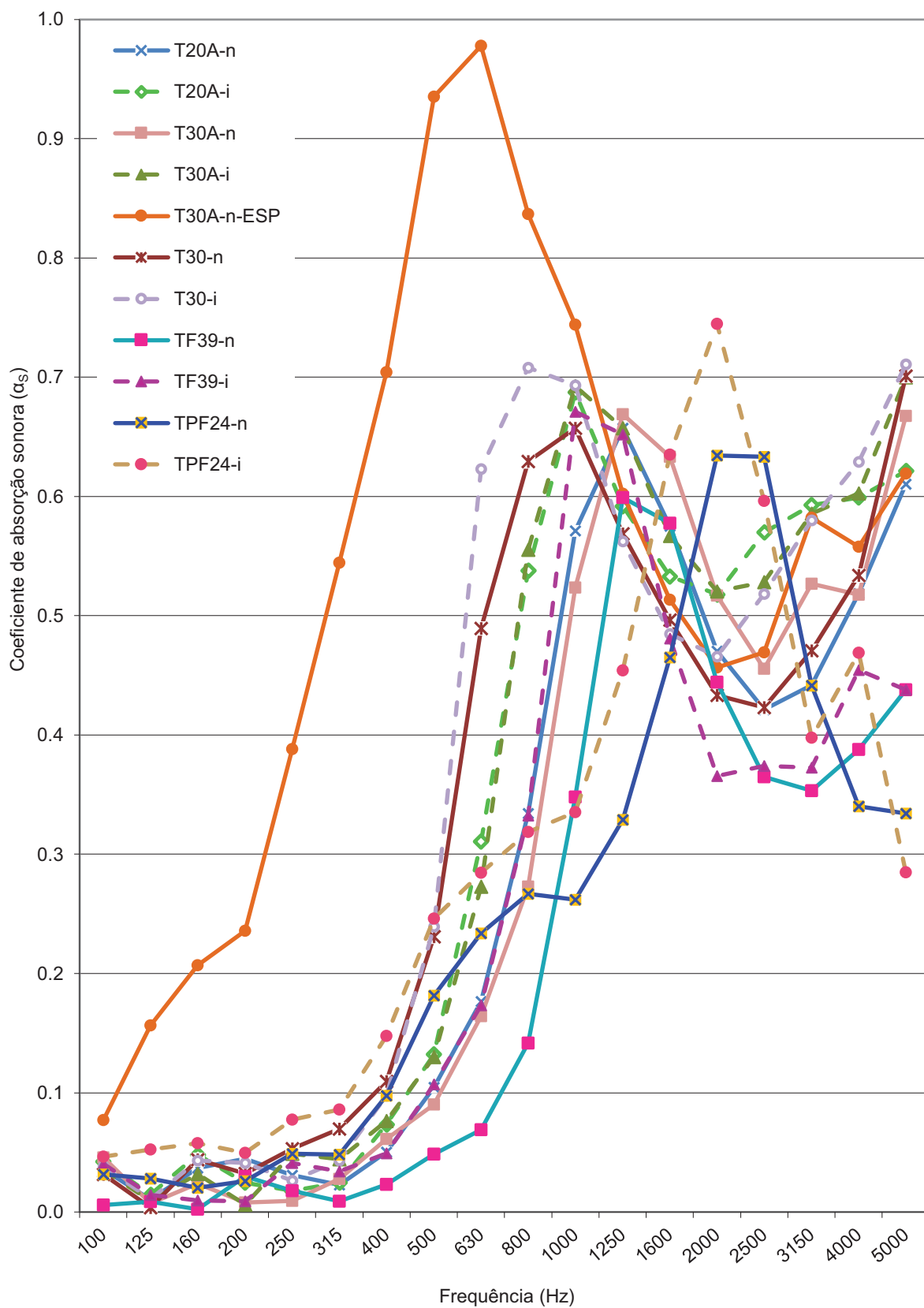


Fig. 5.25 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados aos tabuleiros para ovos e fruta (T – Tabuleiro, A – com pequenas Aberturas, n – superfície normal, i – superfície inversa, ESP – placas de espuma aglomex, F – Fruta, P – Plástico).

Nas Fig. 5.26 e 5.27 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios às caixas para ovos e fruta relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s), respetivamente.

Analisando os resultados nas Fig. 5.26 e 5.27 pode ver-se que as diferenças entre os resultados, em termos de coeficientes de absorção sonora e de área de absorção sonora equivalente de cada elemento, das caixas quando se encontram abertas e fechadas são significativas.

Analisando as áreas de absorção sonora equivalente de cada elemento na Fig. 5.26, observa-se que o pico para as caixas para 12 ovos abertas (excluindo a amostra C12A-a-n-ST (caixa para 12 ovos, com pequenas aberturas, aberta exposta pela superfície normal sem tampa) que apesar de estar aberta tem um comportamento idêntico aos das caixas fechadas) são quase sempre superiores e encontram-se em frequências mais agudas que os picos das caixas para 12 ovos fechadas. Nas frequências entre 160 a 630 Hz, a amostra C12A-f (caixa para 12 ovos com pequenas aberturas fechadas) exposta pela superfície normal e inversa é a que tem valores superiores e a partir da frequência dos 1000 Hz são as caixas para 12 ovos abertas que têm melhores resultados.

Em relação aos coeficientes de absorção sonora, pode-se observar na Fig. 5.27 que o pico para as caixas para 12 ovos abertas (excluindo a amostra C12A-a-n-ST que apesar de estar aberta tem um comportamento idêntico aos das caixas fechadas) são quase sempre inferiores e encontram-se em frequências mais agudas que as caixas para 12 ovos fechadas. Nas frequências entre 160 a 630 Hz, a amostra C12A-f exposta pela superfície normal e inversa continua a ter melhores resultados, mas a partir da frequência dos 1000 Hz é a amostra C12A-f exposta pela superfície inversa que tem quase sempre valores superiores.

Portanto, as incoerências que existem entre as Fig. 5.26 e 5.27, relativamente aos coeficientes de absorção sonora e às áreas de absorção sonora equivalente de cada elemento, devem-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes (por exemplo, a amostra a caixa para 12 ovos fechada (C12-f) tem uma área de 0,0314 m² enquanto que a caixa para 12 ovos aberta (C12-a) tem uma área de 0,0646 m²). Logo, os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si.

Em relação às caixas abertas (exceto a amostra C12A-a-n-ST que tem um comportamento semelhante ao das caixas fechadas) os resultados, dos coeficientes de absorção sonora e área de absorção sonora equivalente de cada elemento, são distintos em termos de evolução dos resultados (crescimentos e diminuição, valores máximos mais à direita ou mais à esquerda, etc.), desconhecendo-se os motivos uma vez que as caixas usadas têm geometrias muito diferentes e mesmo em cada caixa elas não possuem a mesma geometria. É importante referir que nenhuma das caixas abertas se destaca positivamente mas a amostra CP12-a (caixa de plástico para 12 ovos aberta) destaca-se negativamente, isto porque em quase todas as frequências tem valores inferiores às outras amostras. Portanto, as caixas para 12 ovos de papel, abertas ou fechadas, são melhores que a caixa de plástico para 12 ovos aberta.

É importante referir que as caixas para 12 ovos fechadas (principalmente a amostra C12A-f exposta pela superfície inversa) têm melhor desempenho que as caixas para 12 ovos abertas.

Analisando os coeficientes de absorção sonora medidos (α_s) pode ver-se que são superiores à unidade na frequência dos 500 e 630 Hz, o que na realidade não é fisicamente possível para α (valor teórico físico) e isto acontece porque apenas se está a contabilizar a área em projeção horizontal, ou seja além de não se estar a contabilizar a área real incluindo o relevo das caixas (na superfície inversa) também

não se está a contabilizar a área lateral dos bordos das amostras (na superfície inversa e normal) que é significativa devido à altura das caixas fechadas (Fig. 5.12).

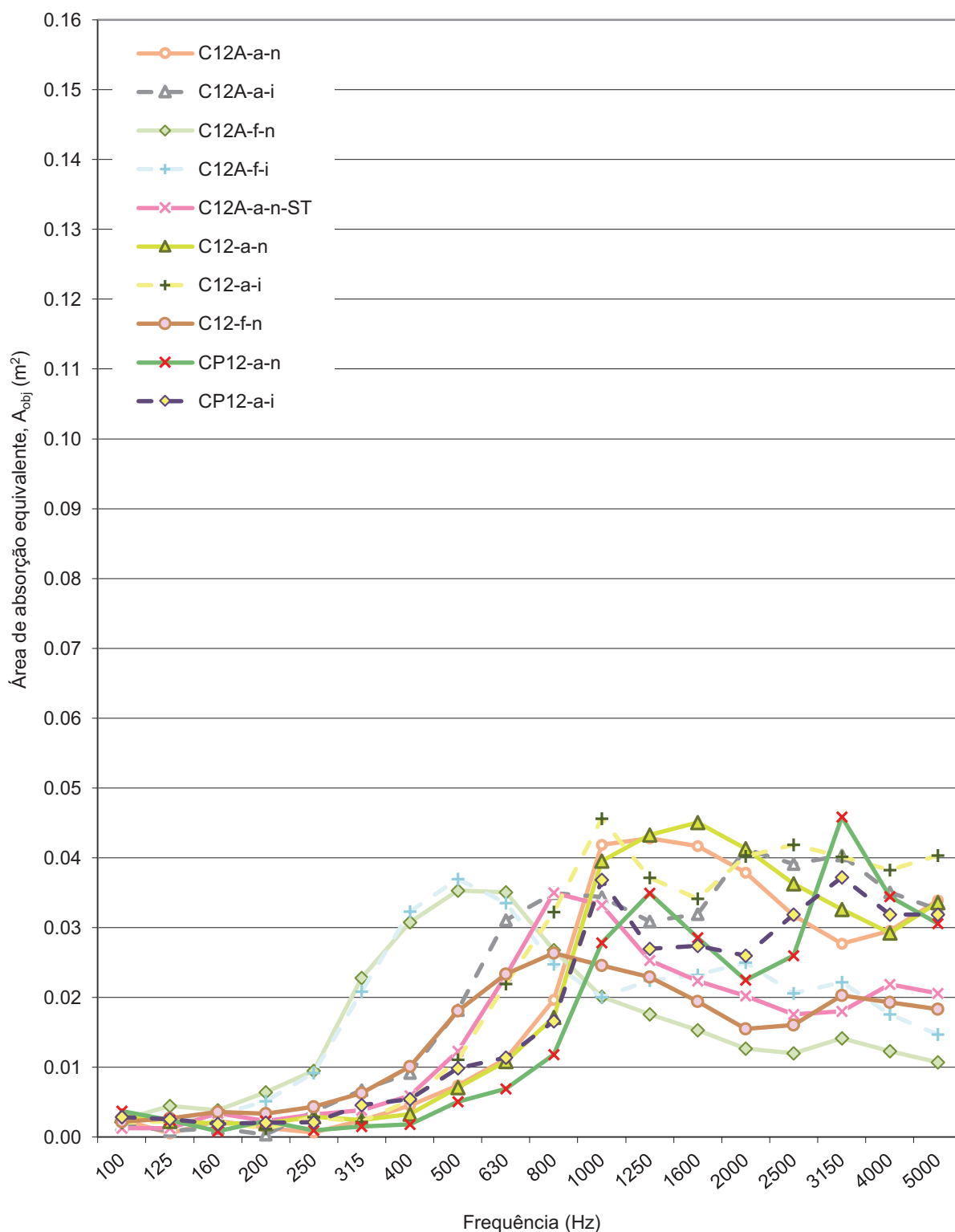


Fig. 5.26 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados às caixas para ovos e fruta (C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

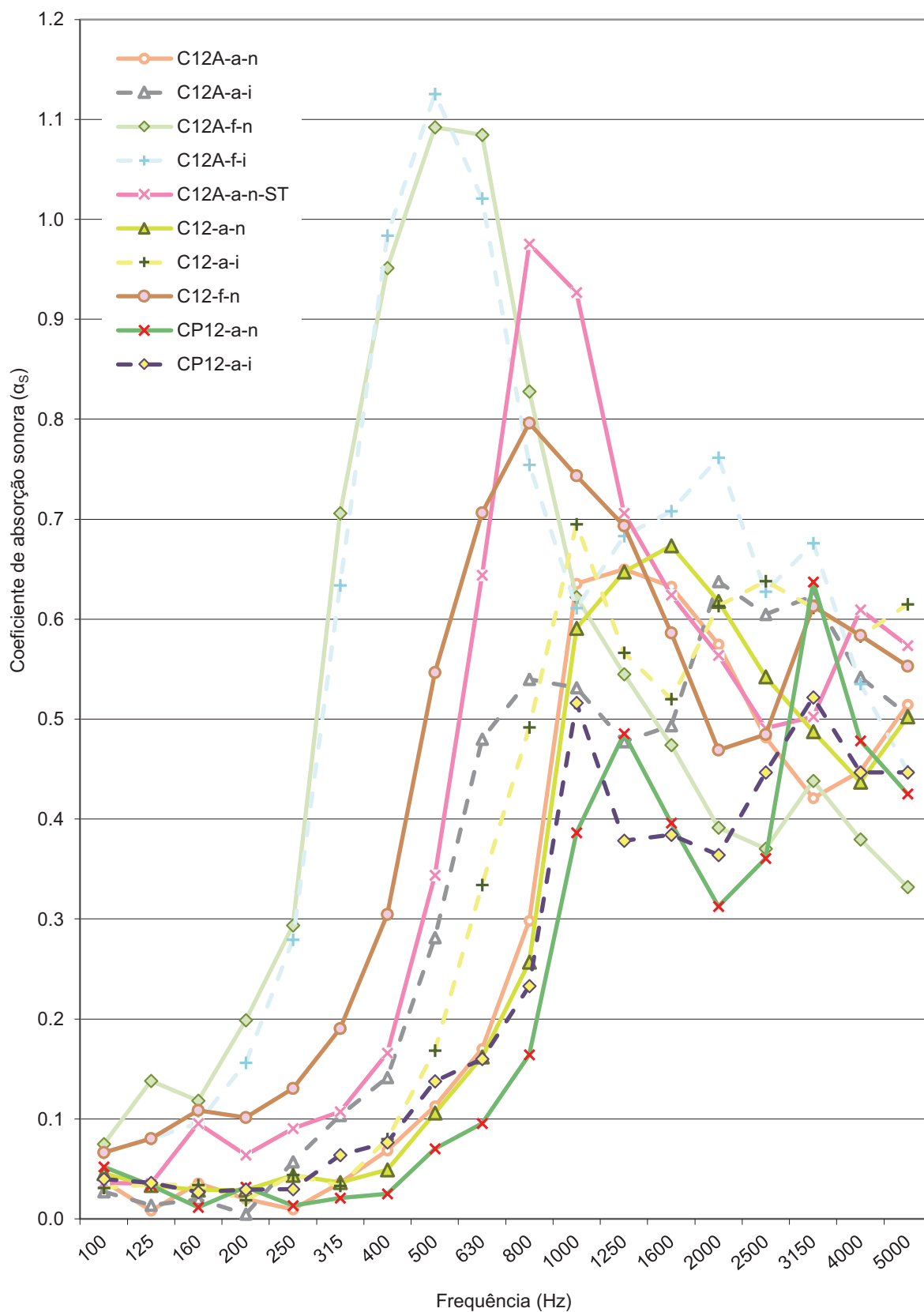


Fig. 5.27 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados às caixas para ovos e fruta (C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

Nas Fig. 5.28 e 5.29 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios às caixas e tabuleiros de papel relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s), respetivamente. Como se pode observar, existem algumas incoerências entre os resultados das duas figuras e estas devem-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes, o que implica que os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si, tal como já foi referido anteriormente.

Comparando agora os valores dos coeficientes de absorção sonora dos tabuleiros de papel (sem o ensaio onde se aplicou os tabuleiros sobre as placas de espuma *Aglomex*) com o das caixas para 12 ovos abertas de papel, pode-se verificar que em termos numéricos existem diferenças, tendo a amostra T30-i (tabuleiros para 30 ovos exposta pela superfície) valores superiores nas médias frequências (500 a 1000 Hz) mas a partir dos 1000 Hz são as caixas que, em geral, têm valores superiores. Em termos de evolução dos resultados (valores máximos de coeficientes de absorção sonora mais à direita ou mais à esquerda) as diferenças também são significativas, em que os picos das caixas se encontram em frequências mais altas. Portanto entre os resultados dos tabuleiros de papel (sem o ensaio onde se aplicou os tabuleiros sobre as placas de espuma *Aglomex*) e caixas de ovos abertas de papel não existe nenhuma amostra que se destaque em todas ou quase todas as frequências positivamente, mas a amostra TF39-n (tabuleiro para fruta com 30 cavidades exposto pela superfície normal) destaca-se negativamente uma vez que em praticamente em todas as frequências têm valores de coeficientes de absorção sonora inferiores ao das outras amostras. Comparando agora o ensaio que se realizou à amostra T30A-n sobre as placas *Aglomex* com as caixas para 12 ovos (de papel) abertas, os resultados são evidentemente melhores nos tabuleiros sobre as ditas placas.

Comparando os resultados de todas as amostras dos tabuleiros de papel com as caixas de papel fechadas, os resultados da amostra C12A-f-i (caixas para 12 ovos, com pequenas aberturas, fechadas expostas pela superfície inversa) são melhores em praticamente todas as frequências e a amostra TF39-n é a que tem, em geral, piores resultados.

Nas Fig. 5.30 e 5.31 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios às caixas e tabuleiros de plástico relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s), respetivamente. Como se pode observar, existem algumas incoerências entre os resultados das duas figuras e estas devem-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes, o que implica que os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si, tal como já foi referido anteriormente.

Em relação às caixas e tabuleiros de plástico, os resultados dos coeficientes de absorção sonora são melhores para os tabuleiros de plástico em praticamente todas as frequências.

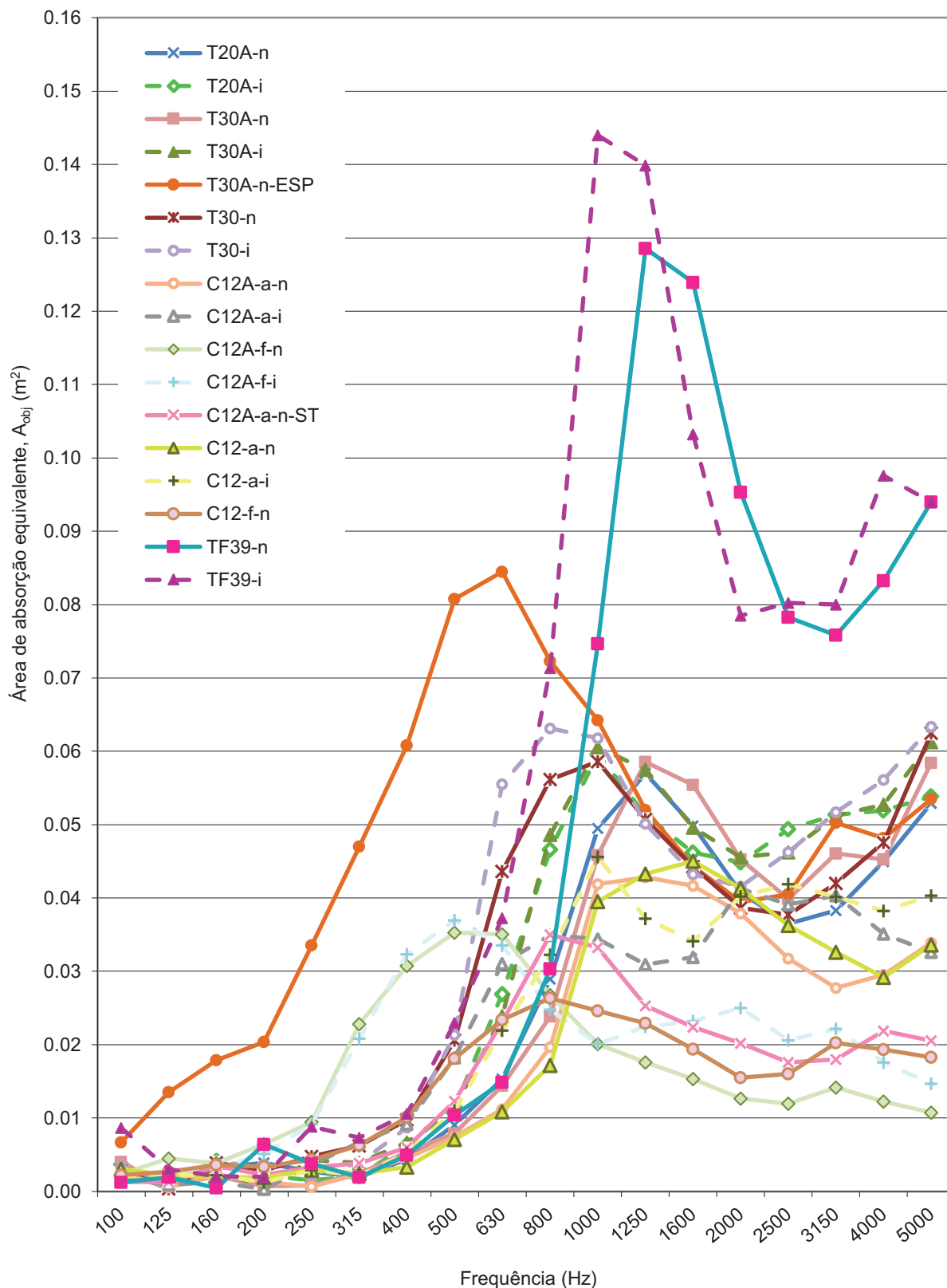


Fig. 5.28 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

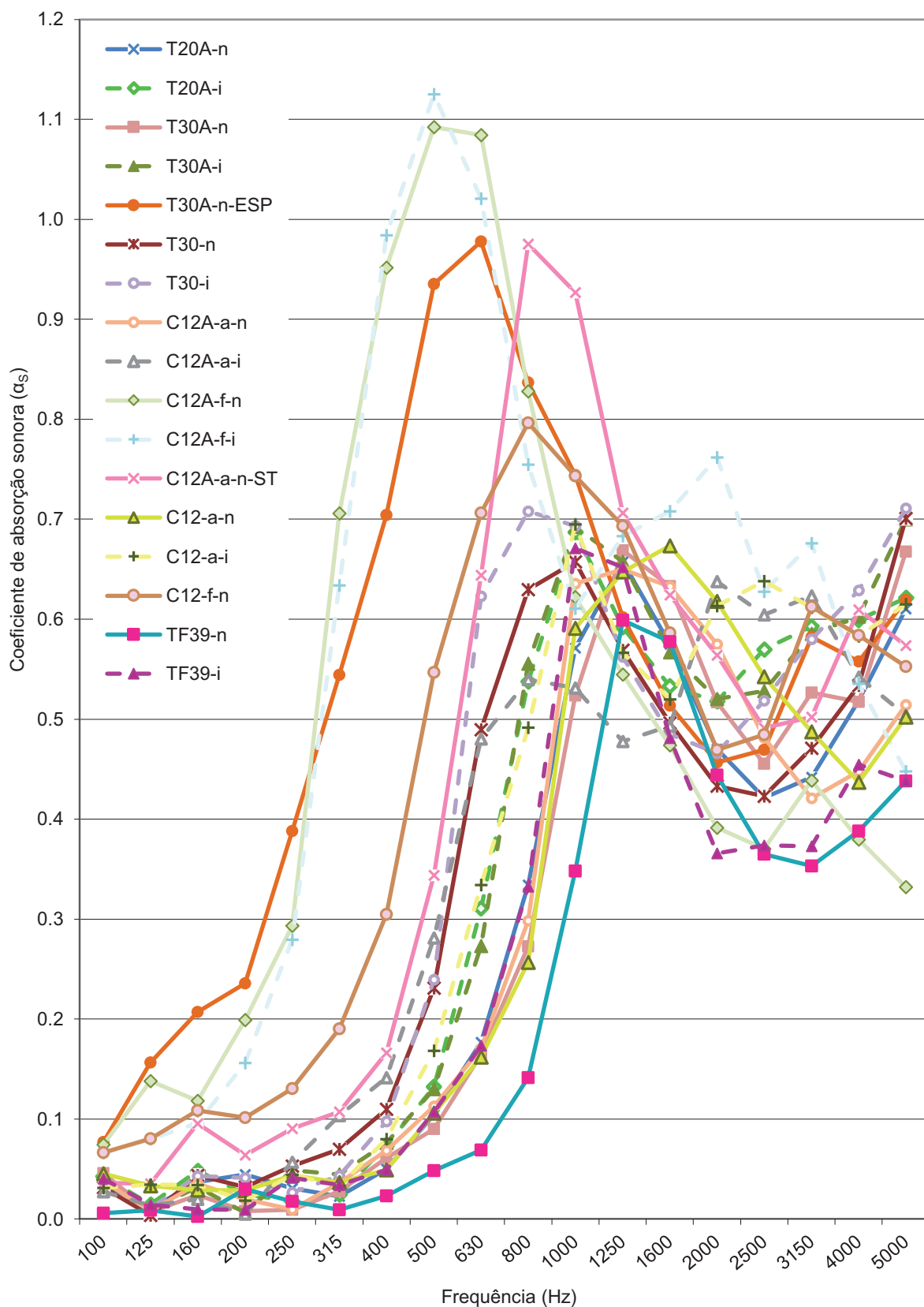


Fig. 5.29 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de papel (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta).

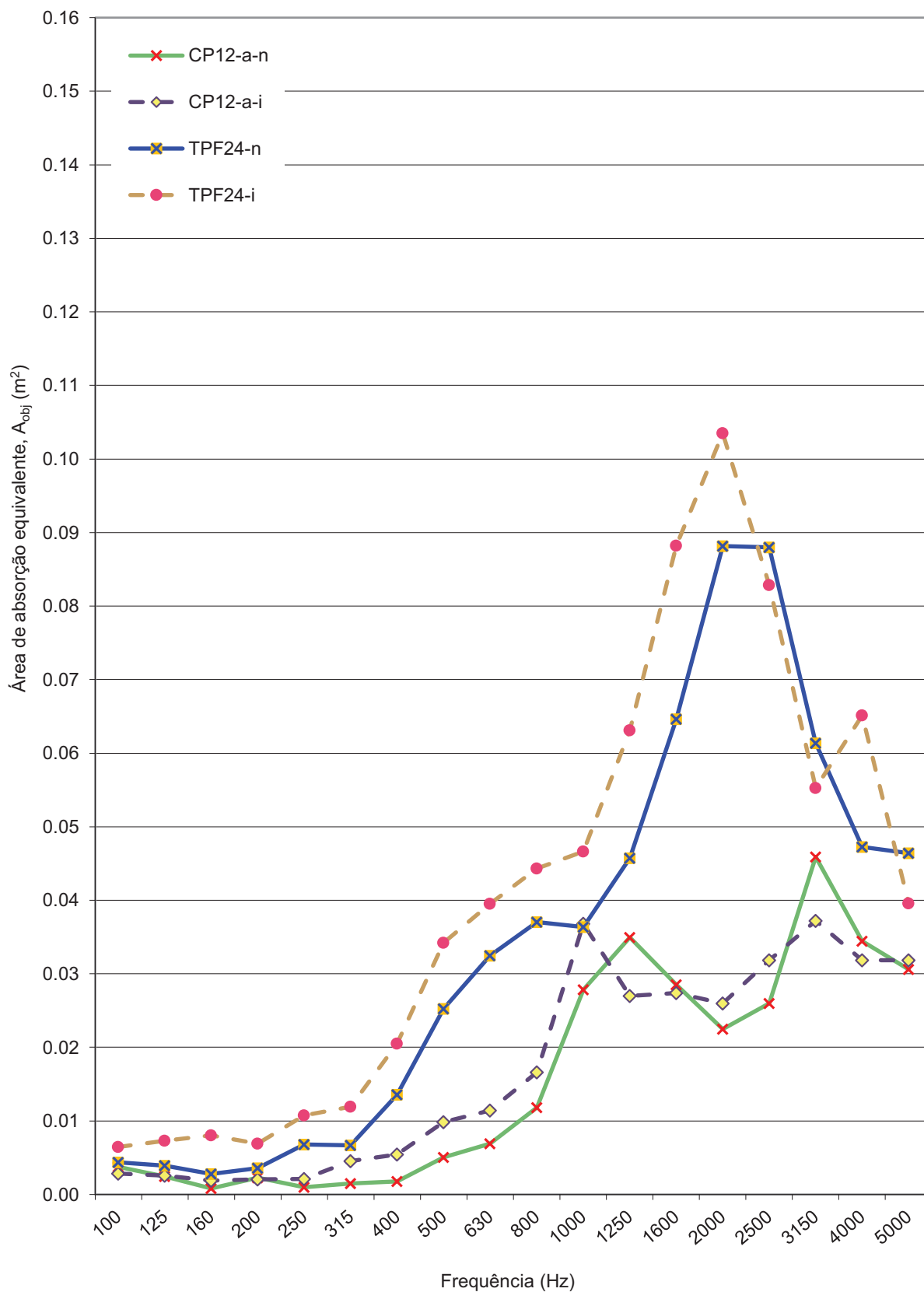


Fig. 5.30 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, F – Fruta, P – plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

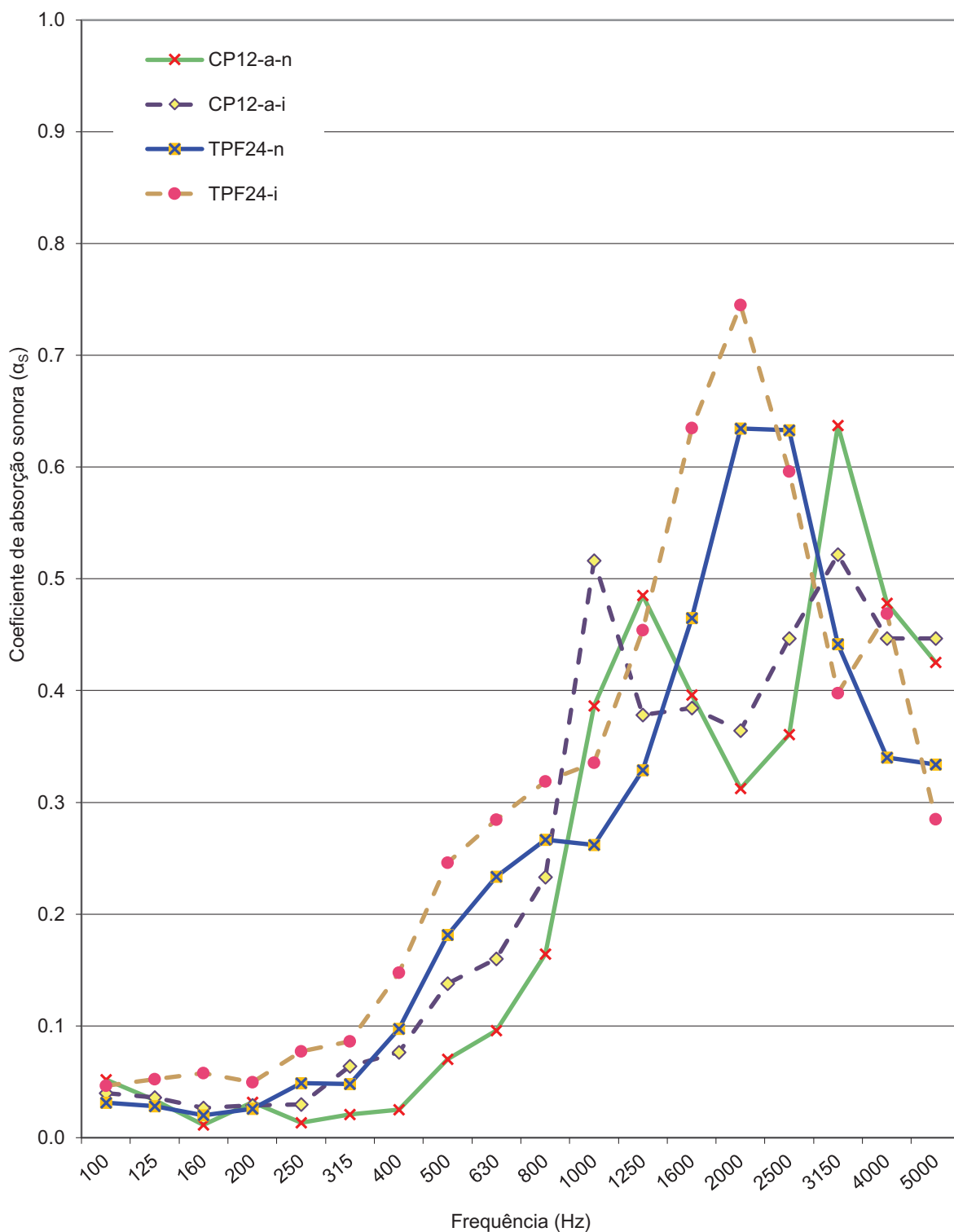


Fig. 5.31 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares de plástico (T – Tabuleiro, C – Caixa, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, F – Fruta, P – plástico).

Na Fig. 5.32 e Fig. 5.33 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios a todos os suportes alveolares relativamente à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) e ao coeficiente de absorção sonora (α_s), respetivamente. Como se pode observar, existem algumas

incoerências entre os resultados das duas figuras e estas devem-se ao facto dos elementos de cada amostra terem áreas individuais diferentes, o que implica que os resultados referentes à área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) não são diretamente comparáveis entre si, tal como já foi referido anteriormente.

Na Fig. 5.33 pode-se observar que as amostras com maiores coeficientes de absorção são as C12A-f, C12A-a-n-ST e T30A-n-ESP, sendo que a amostra C12A-f-i é a que tem melhor desempenho apesar de na frequência de eficácia máxima o seu coeficiente de absorção sonora medido (α_s) ser teoricamente impossível de atingir no α (valor teórico físico) por ter valores superiores à unidade. As amostras TF39-n e CP12-a-n (caixa de plástico para 12 ovos aberta exposta pela superfície normal) são as que têm piores resultados em quase todas as frequências.

Por fim, pode ver-se que os resultados dos coeficientes de absorção sonora e da área de absorção sonora equivalente de cada elemento quando as amostras são ensaiadas pela superfície de exposição “normal” são piores relativamente aos resultados quando as amostras são ensaiadas pela superfície de exposição “inversa”.

No Quadro 5.23 encontram-se apresentadas as principais conclusões retiradas (em cada tipo de situação comparável, linha a linha) quando comparadas todas as amostras ensaiadas.

Quadro 5.23 – Principais conclusões retiradas (em cada tipo de situação comparável, linha a linha) quando comparadas todas as amostras ensaiadas (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma *aglomex*, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa).

Melhor	Pior
Tabuleiros sem aberturas	Tabuleiros com aberturas (excluindo a amostra T30A-n-ESP)
Tabuleiros de papel para ovos	Tabuleiros de papel para fruta
Tabuleiros de plástico para fruta	Tabuleiros de papel para fruta
Amostra T30A-n-ESP	Restantes amostras constituídas por tabuleiros e caixas para 12 ovos abertas
Caixas para ovos fechadas	Caixas para ovos abertas
Caixas de papel para ovos abertas ou fechadas	Caixa de plástico para ovos
Caixas para ovos fechadas	Tabuleiros para ovos e para a fruta
Tabuleiro de plástico para fruta	Caixa de plástico para ovos
Amostras expostas pela superfície inversa	Amostras expostas pela superfície normal
Amostra C12A-f-i	Todas as outras amostras

Em comparação dos resultados obtidos neste trabalho com os do ensaio realizado nos EUA [22], os valores não diferem muito numericamente exceto das amostras C12A-f, C12A-a-n-ST e T30A-n-ESP em que os valores nas baixas e médias frequências são muito diferentes. Contudo, os resultados do ensaio realizado nos EUA, em termos de evolução de resultados (crescimentos e diminuição, valores máximos de coeficientes de absorção sonora mais à direita ou mais à esquerda, etc.), assemelham-se aos da amostra dos tabuleiros de papel, mais precisamente aos resultados da amostra T30-i (tabuleiro para 30 ovos exposto pela superfície inversa), que era o que se esperava por serem de materiais iguais ou semelhantes.

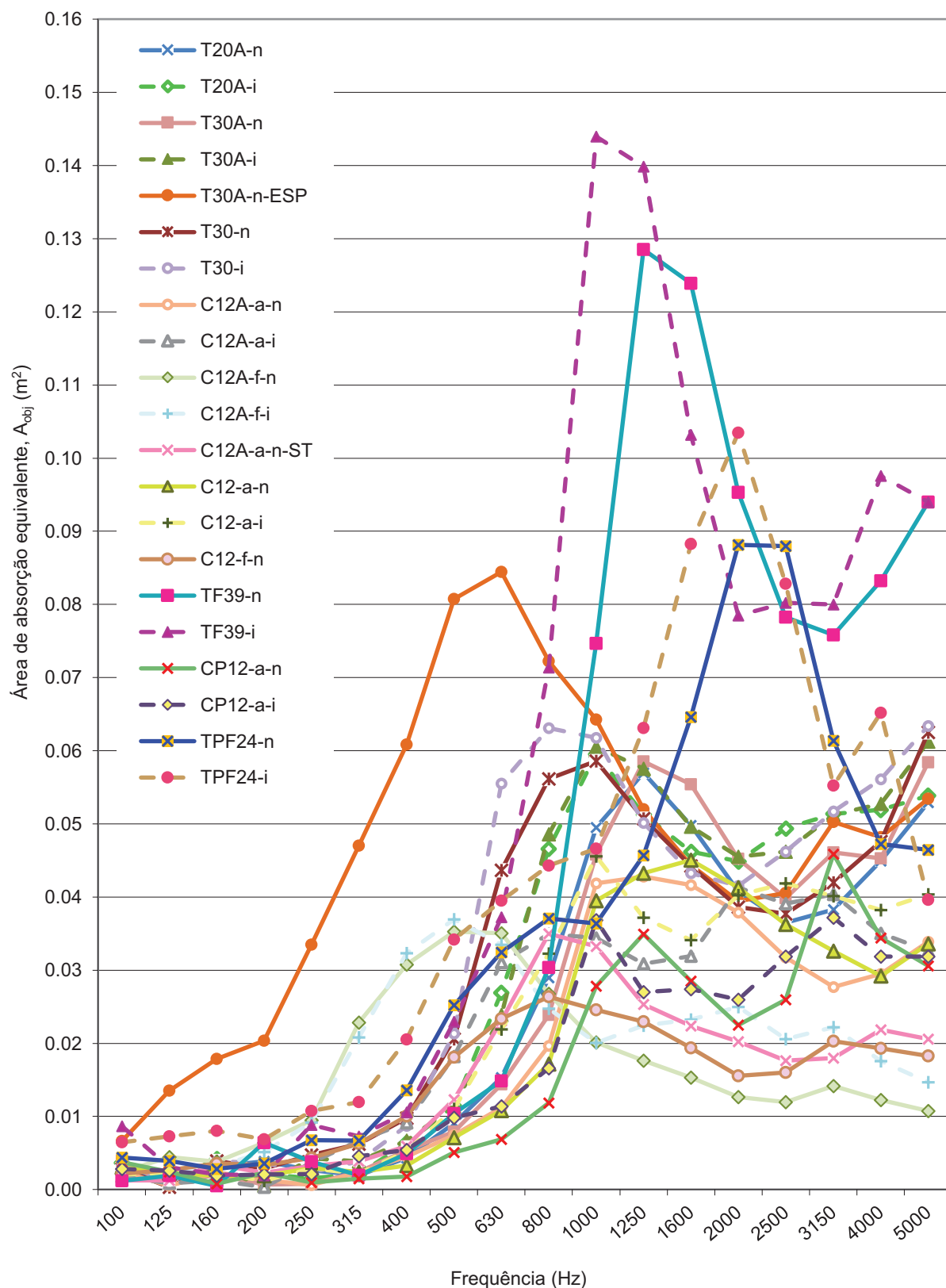


Fig. 5.32 – Área de absorção sonora equivalente de cada elemento (A_{obj}) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico) (notar que os objetos têm áreas individuais diferentes).

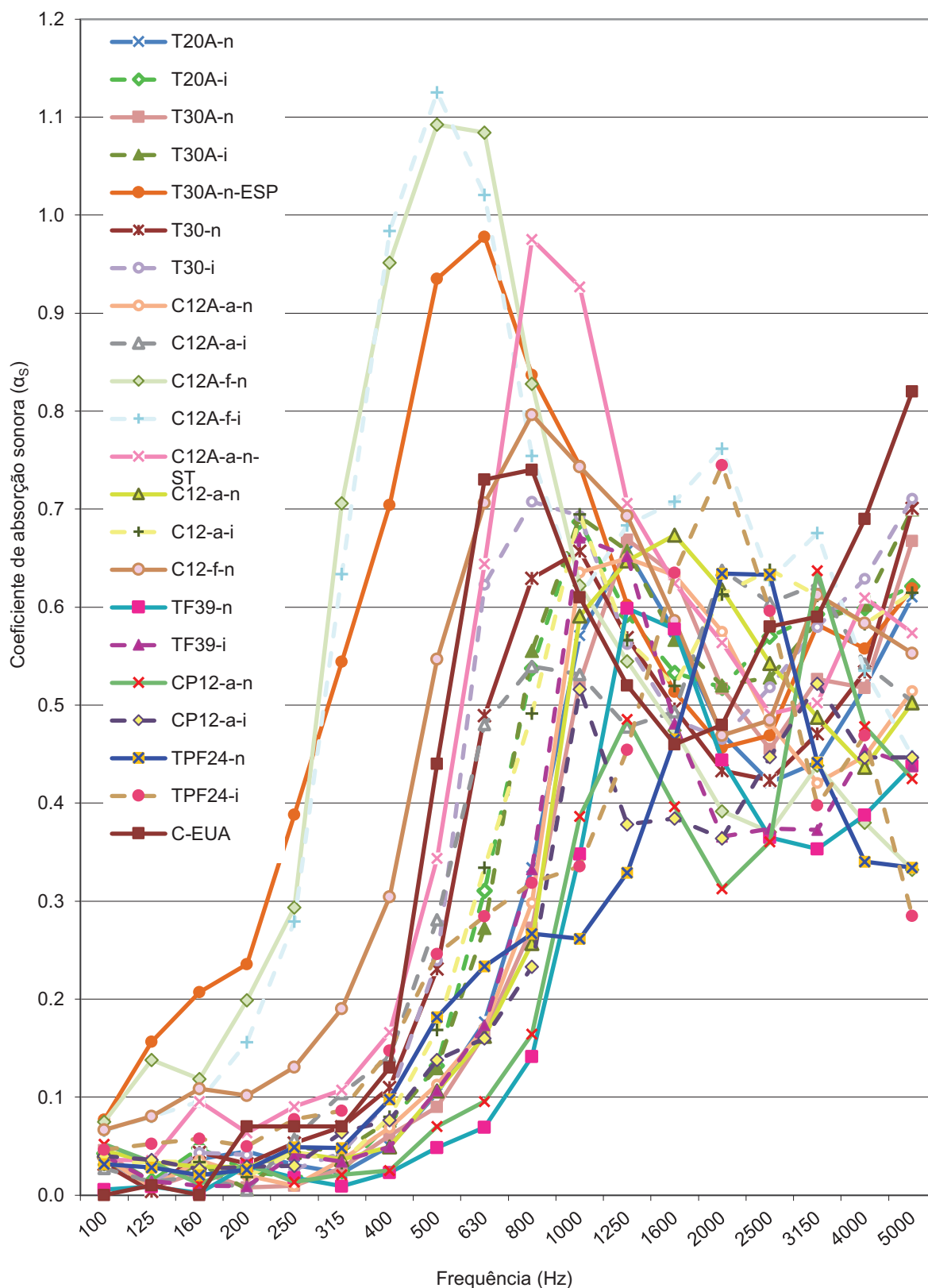


Fig. 5.33 – Coeficiente de absorção sonora (α_s) dos ensaios realizados a todos os suportes alveolares e os resultados do ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

5.3.2. NRC e α_w

No Quadro 5.24 encontram-se apresentados os resultados obtidos dos ensaios a todos os suportes alveolares relativamente ao NRC e α_w .

Na Fig. 5.34 e Fig. 5.35 pode ver-se que as amostras C12A-f, T30A-n-ESP, C12A-a-n-ST e C12-f-n são as que tem melhores valores relativamente ao NRC e α_w . As outras amostras relativamente aos resultados do NRC têm valores entre 0,20 e 0,40. Relativamente ao α_w , os resultados das restantes amostras variam entre 0,10 e 0,35. Comparando os resultados das amostras utilizadas neste trabalho com os resultados da amostra ensaiada nos EUA, pode-se ver que os resultados não diferem muito exceto das amostras C12A-f, T30A-n-ESP, C12A-a-n-ST e C12-f-n que têm um melhor desempenho tal como já foi referido anteriormente.

Quadro 5.24 – NRC e α_w de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

Amostra	Parâmetro		Amostra	Parâmetro	
	NRC	α_w		NRC	α_w
T20A-n	0,30	0,20	C12A-a-n-ST	0,50	0,35
T20A-i	0,35	0,20	C12-a-n	0,30	0,20
T30A-n	0,30	0,20	C12-a-i	0,35	0,25
T30A-i	0,35	0,20	C12-f-n	0,50	0,40
T30A-n-ESP	0,60	0,55	TF39-n	0,20	0,10
T30-n	0,35	0,30	TF39-i	0,25	0,20
T30-i	0,40	0,30	CP12-a-n	0,20	0,15
C12A-a-n	0,30	0,20	CP12-a-i	0,25	0,20
C12A-a-i	0,35	0,30	TPF24-n	0,25	0,25
C12A-f-n	0,65	0,45	TPF24-i	0,35	0,25
C12A-f-i	0,70	0,65	C-EUA	0,40	0,35

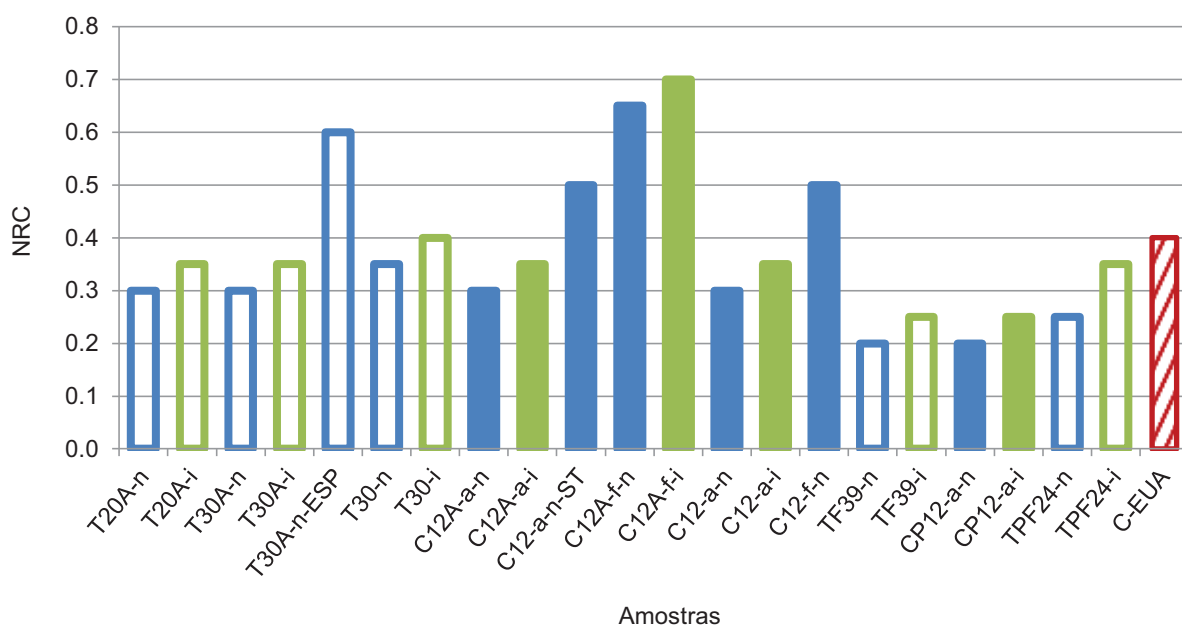


Fig. 5.34 – NRC de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

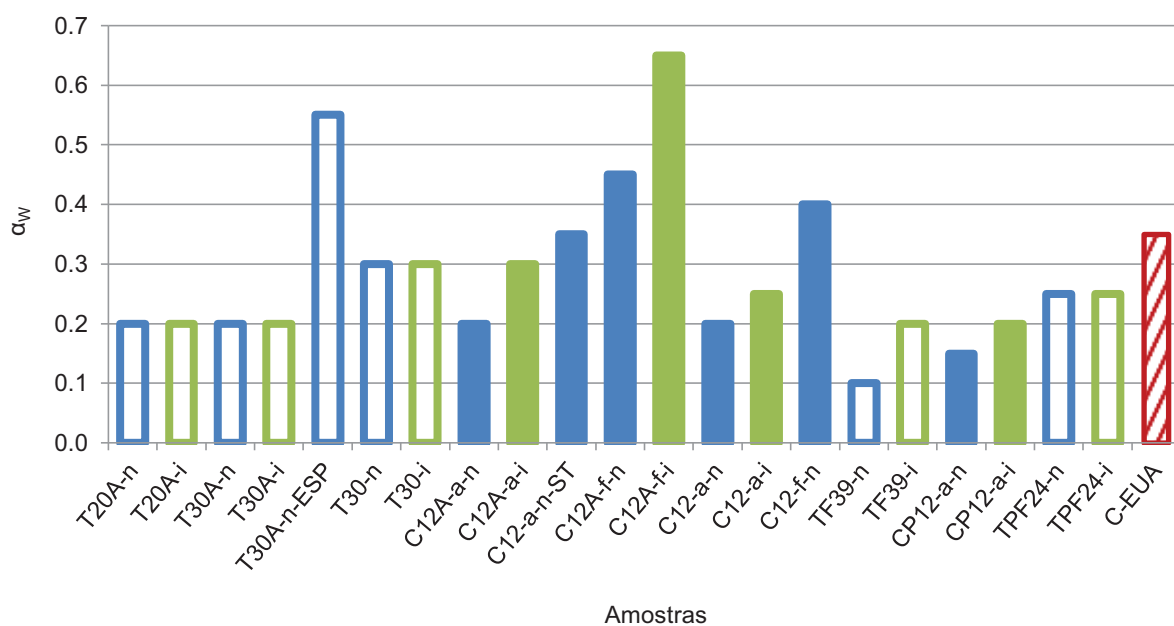


Fig. 5.35 – α_w de todos os suportes alveolares usados neste trabalho e no ensaio realizado nos EUA [22] (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

Pode-se classificar as amostras em função do α_w sendo:

- Inadequado (I) se $\alpha_w < 0,25$
- Razoável (R) se $\alpha_w \in [0,25 \text{ a } 0,40 [$
- Adequado (A) se $\alpha_w \geq 0,40$

Observando o Quadro 5.25, pode-se ver que as amostras C12A-f, T30A-n-ESP e C12-f-n são as amostras mais adequadas, em função de α_w , quando utilizados como material absorvente.

Quadro 5.25 – Classificação em função de α_w de todas as amostras usadas neste trabalho (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

Amostra	Classificação em função de α_w	Amostra	Classificação em função de α_w
T20A-n	I	C12A-a-n-ST	R
T20A-i	I	C12-a-n	I
T30A-n	I	C12-a-i	R
T30A-i	I	C12-f-n	A
T30A-n-ESP	A	TF39-n	I
T30-n	R	TF39-i	I
T30-i	R	CP12-a-n	I
C12A-a-n	I	CP12-a-i	I
C12A-a-i	R	TPF24-n	R
C12A-f-n	A	TPF24-i	R
C12A-f-i	A		

5.4. COMPARAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA DOS SUPORTES ALVEOLARES COM OUTROS MATERIAIS

Para que se possa ter uma ideia da grandeza dos resultados dos coeficientes de absorção sonora das amostras com melhores resultados (C12A-f – caixas para 12 ovos (com pequenas aberturas) fechadas, de celulose moldada, expostas ao som pela superfície normal (“-n”) e inversa (“-i”) e C12-f-n – caixas para 12 ovos fechadas, de celulose moldada, expostas ao som pela superfície normal), de algumas amostras com resultados razoáveis (T30-i – tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada com a superfície inversa exposta ao som e TPF24-i – tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades expostos ao som pela superfície inversa) e de uma das amostras com piores resultados (TF39-n – tabuleiros (de celulose moldada) para fruta com 39 cavidades expostos ao som pela a superfície normal), comparou-se esses resultados com um material “muito fraco” e outro material “muito bom” em termos de absorção sonora. O material “muito fraco” utilizado foi o aglomerado composto de cortiça de 3 mm de espessura e o material “muito bom” foi o *K13-standard* com 25 mm de espessura.

Como se pode ver na Fig. 5.36, as amostras C12A-f, C12-f-n, T30-i, TPF24-i e TF39-n têm valores de coeficientes de absorção sonora intermédios ao do *K13-standard* e aglomerado composto de cortiça de 3 mm. Logo, o *K13-standard* (25mm de espessura) é o que tem coeficientes de absorção sonora superiores e o aglomerado composto de cortiça de 3 mm de espessura é o que tem coeficientes de absorção sonora inferiores, tal como era esperado.

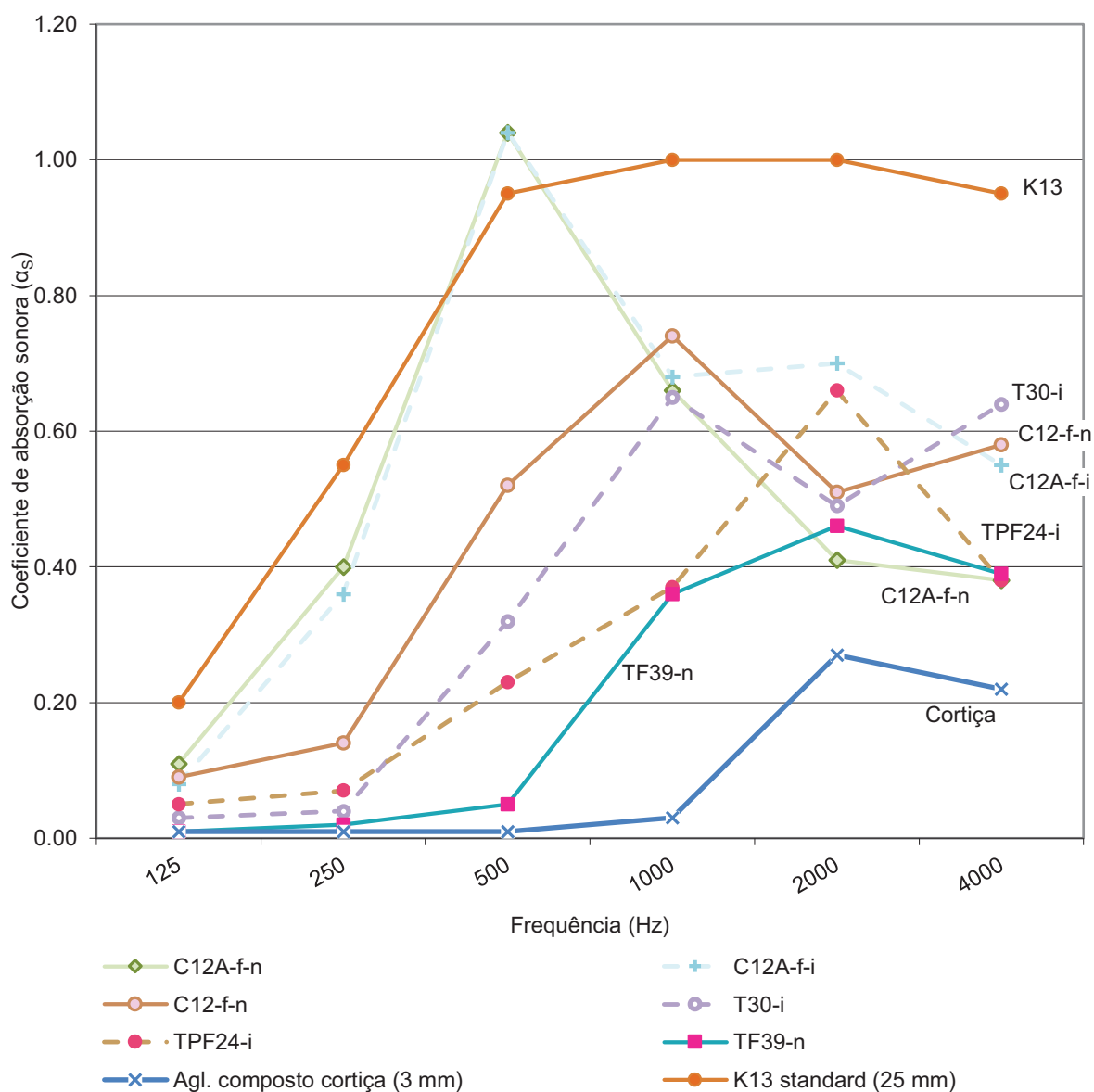


Fig. 5.36 – Coeficientes de absorção sonora das amostras T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa), C12A-f (caixas para 12 ovos (com pequenas aberturas) fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície normal ("n") e pela superfície inversa ("-i")), C12-f-n (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície normal), TPF24-i (tabuleiros de plástico para fruta com 24 cavidades expostos ao som pela superfície inversa) e TF39-n (tabuleiros de fruta com 39 cavidades de celulose moldada expostos ao som pela superfície normal) e do aglomerado composto de cortiça (3 mm) [2] e K13-standard (25 mm) [25].

6

EXEMPLO DE APLICAÇÃO TEÓRICA E COMENTÁRIOS DE “BOA APLICAÇÃO” DE SUPORTES ALVEOLARES COMO ABSORVENTE

6.1. EXEMPLO DE APLICAÇÃO TEÓRICA

Para entender de uma forma mais concreta os resultados dos coeficientes de absorção sonora, foi feita uma aplicação teórica específica, para uma garagem com $6 \times 6 \text{ m}^2$ (Fig. 6.1) e um pé-direito de 3 m, sem e com revestimento deste tipo de suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares com maior eficiência.

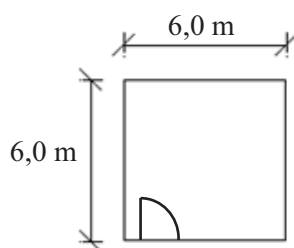


Fig. 6.1 – Dimensões da garagem.

As paredes e o teto da garagem são rebocadas, a porta ($1,0 \times 2,0 \text{ m}^2$) é de madeira e o pavimento de betão. Os coeficientes de absorção sonora dos revestimentos e da porta da garagem encontram-se no Quadro 6.1, assim como a absorção sonora do ar (m) em função da humidade relativa (por defeito considerou-se 60%).

Quadro 6.1 – Coeficientes de absorção sonora (α) do revestimento das paredes (situação inicial), teto (situação inicial) e pavimento e da porta [24] e da absorção sonora do ar para uma humidade relativa de 60 % [2], incluindo as respetivas áreas ou volumes antes da alteração.

Designação	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
α – Pavimento de betão ($S=36 \text{ m}^2$)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
α – Paredes e teto rebocados ($S=106 \text{ m}^2$)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
α – Porta em madeira ($S=2 \text{ m}^2$)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
m – absorção sonora do ar (HR=60%) ($V=108 \text{ m}^3$)	0	0	0	0,003	0,004	0,028

Utilizando a fórmula de Sabine ($T = 0,16V / (\sum_{i=1}^N \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^M A_j + mV)$) obtém-se o tempo de reverberação TR_0 da garagem na situação inicial sem a aplicação, para cada frequência (Quadro 6.3 e Fig. 6.2). Fazendo a aplicação dos suportes alveolares T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa) e C12A-f-i (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície inversa) na totalidade de três paredes e no teto da garagem, obtém-se os tempos de reverberação TR_1 e TR_2 , respetivamente apresentados no Quadro 6.3 e Fig. 6.2. Os coeficientes de absorção sonora (α_s) das amostras T30-i e C12A-f-i, para cada frequência, estão apresentados no Quadro 6.2.

No Quadro 6.3 e Fig. 6.2, também estão apresentados os tempos de reverberação TR_3 e TR_4 que dizem respeito à aplicação, também na totalidade das três paredes e no teto da garagem, do material *K13-standard* (25 mm) e do aglomerado composto de cortiça (3 mm), respetivamente. Utilizou-se o *K13-standard* como forma de comparar os resultados do tempo de reverberação e do custo da aplicação dos suportes alveolares com um material absorvente, com elevado desempenho acústico, existente no mercado e utilizou-se o aglomerado composto de cortiça de forma a comparar os resultados do tempo de reverberação com um material que não é absorvente. Os coeficientes de absorção sonora (α_s) do material *K13-standard* com 25 mm de espessura e do aglomerado composto de cortiça com 3 mm de espessura, para cada frequência, estão apresentados no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – Coeficientes de absorção sonora (α) do revestimento das paredes, teto e pavimento e da porta [24], absorção sonora do ar para uma humidade relativa de 60% [2], coeficientes de absorção sonora (α_s) das amostras T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa) e C12A-f-i (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície inversa), do material *K13-standard* (25 mm) [25] e do aglomerado composto de cortiça (3 mm) [2], incluindo as respetivas áreas ou volumes após aplicação.

Designação	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
α – Pavimento de betão ($S=36 \text{ m}^2$)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
α – Parede rebocada ($S=16 \text{ m}^2$)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
α – Porta em madeira ($S=2 \text{ m}^2$)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
m – absorção sonora do ar (HR=60%) ($V=108 \text{ m}^3$)	0	0	0	0,003	0,004	0,028
α – T30-i ($S=90 \text{ m}^2$)	0,03	0,04	0,32	0,65	0,49	0,64
α – C12A-f-i ($S=90 \text{ m}^2$)	0,08	0,36	1,04*	0,68	0,70	0,55
α – <i>K13-standard</i> , 25 mm de espessura ($S=90 \text{ m}^2$)	0,20	0,55	0,95	1,00	1,00	0,95
α – Aglomerado composto de cortiça (3 mm) ($S=90 \text{ m}^2$)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	0,22

* Limitado a 1,0 para o cálculo do tempo de reverberação.

Quadro 6.3 – Tempo de reverberação TR_0 (situação inicial), TR_1 (aplicado em três paredes e teto a amostra T30-i [tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada expostos ao som pela superfície inversa]), TR_2 (aplicado em três paredes e teto a amostra C12A-f-i [caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas pela superfície inversa]), TR_3 (aplicado em três paredes e teto o *K13-standard* com 25 mm de espessura) e TR_4 (aplicado em três paredes e teto o aglomerado composto de cortiça (ACC) com 3 mm de espessura) para cada frequência.

Designação	Frequência (Hz)						$TR_{\text{médio}}$ (s) previsível para $S=90 \text{ m}^2$ $(TR_{500}+TR_{1000}+TR_{2000})/3$
	125	250	500	1k	2k	4k	
TR_0 (inicial)	10,2	10,7	10,9	5,2	5,0	2,3	7,0
TR_1 (T30-i)	4,9	4,0	0,6	0,3	0,4	0,3	0,4
TR_2 (C12A-f-i)	2,2	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
TR_3 (K13)	0,9	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TR_4 (ACC)	10,2	10,7	10,9	4,1	0,7	0,7	5,2

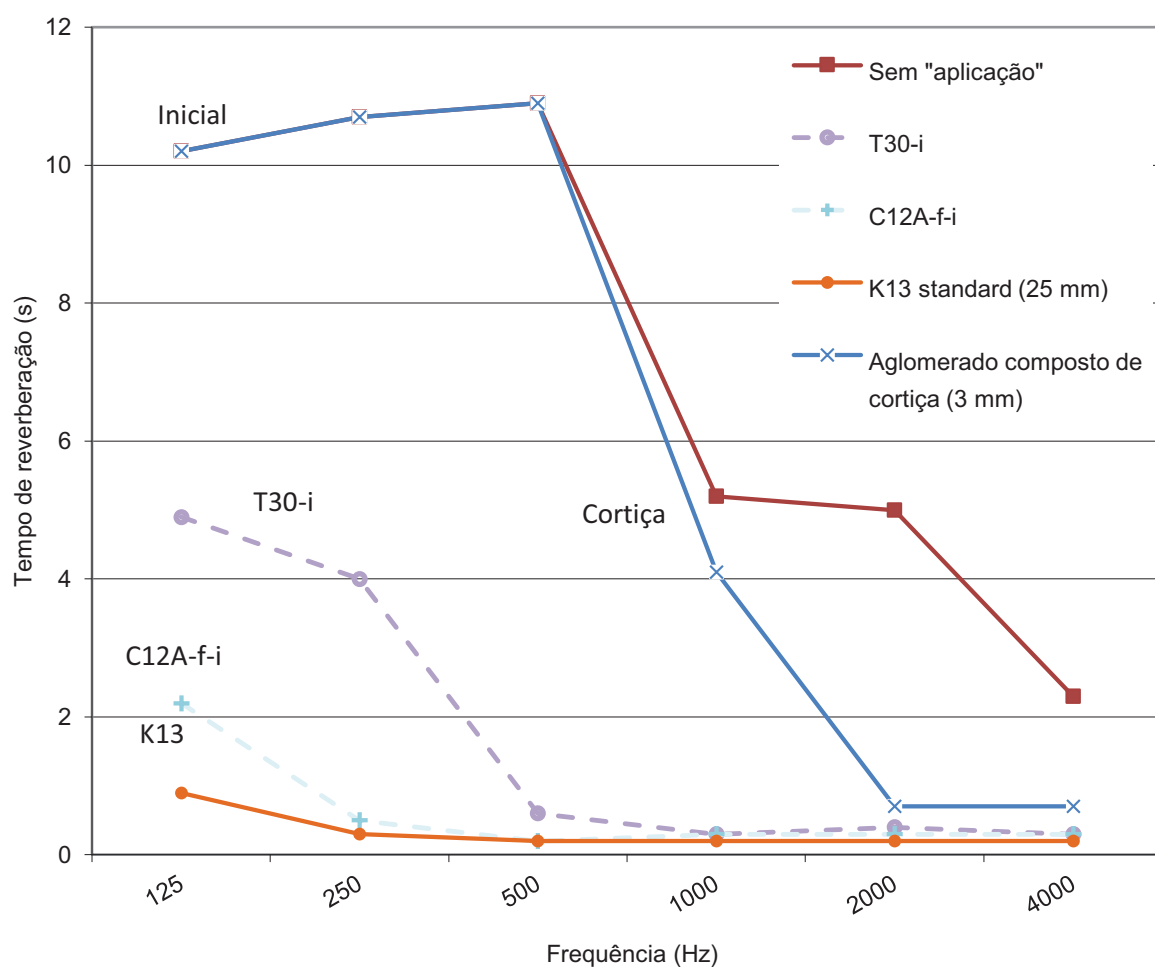


Fig. 6.2 – Tempo de reverberação, para cada frequência, sem nenhuma aplicação e aplicando em três paredes e teto a amostra T30-i (tabuleiros para 30 ovos de celulose moldada exposto ao som pela superfície inversa), C12A-f-i (caixas para 12 ovos fechadas de celulose moldada expostas ao som pela superfície inversa) e o *K13-standard* (25 mm) e aglomerado composto de cortiça (3 mm).

No Quadro 6.3 e Fig. 6.2, pode-se ver que aplicando qualquer uma das soluções reduz o tempo de reverberação na garagem. Quando aplicado o *K13-standard* (25 mm) ou a amostra C12A-f-i nas três paredes e teto da garagem, o tempo de reverberação é inferior à amostra T30-i nas frequências dos 125, 250 e 500 Hz, mas nas frequências dos 1000, 2000 e 4000 Hz é praticamente o mesmo. Quando aplicado o aglomerado composto de cortiça (3 mm), o tempo de reverberação é muito superior às outras soluções nas frequências dos 250, 500 e 1000 Hz, na frequência dos 125 Hz tem valor próximo ao da amostra T30-i e nas frequências dos 2000 e 4000 Hz os resultados são ligeiramente superiores ao das outras soluções. Portanto, o aglomerado composto de cortiça tem resultados muito piores em relação ao das outras soluções e por isso não é material para usar com o objetivo de absorver.

Em relação à amostra C12A-f-i e ao material *K13-standard* (25 mm), as diferenças dos tempos de reverberação encontram-se na frequência 125 Hz em que o tempo de reverberação da amostra é cerca do dobro do tempo de reverberação do material *K13-standard*. Mas o tempo de reverberação sem aplicar nenhum das amostras nem material é cerca de 8,0 s superior ao tempo de reverberação da amostra C12A-f-i e cerca de 9,3 s superior ao tempo de reverberação do *K13-standard* (25 mm), logo a diferença é reduzida (cerca de 1,3 s).

Os custos por metro quadrado das amostras T30-i e C12A-f-i e do material *K13-standard* com 25 mm de espessura, encontram-se Quadro 6.4, assim como os custos totais aplicando os diferentes materiais em três paredes e teto da garagem.

Quadro 6.4 – Custos por metro quadrado das amostras T30-i e C12A-f-i e do material *K13-standard* com 25 mm de espessura e custos totais aplicando os diferentes materiais às três paredes e teto da garagem.

Designação	Custo aprox. da unidade (€)	Área (m ²)	Custo aprox. (€/m ²)	Custo total (€)
T30-i	0,10	90	1,2	120*
C12A-f-i	0,10		3,3	300*
<i>K13-standard</i> (25 mm)	-		38,0	3420**

* Custo apenas do material para uma área de 90 m²..

** Custo do material e mão de obra para uma área de 90 m².

Pode-se ver no Quadro 6.4 que os custos aplicando as amostras T30-i e C12A-f-i são muito inferiores ao custo aplicando o *K13 Standard* (25 mm) nas três paredes e teto da garagem. Em relação ao custo da amostra T30-i e C12A-f-i a diferença apesar de ser significativa (cerca de 2,1 €/m²) não é tão acentuada como a diferença entre os custos das amostras T30-i e C12A-f-i e o do *K13 Standard* (25 mm).

É importante referir que as amostras T30-i e C12A-f-i podem ser aplicadas sem custo de mão de obra, mas o *K13 Standard* (25 mm) precisa desse custo por ter de ser aplicado com equipamento específico e pessoal certificado. Por isso, é que nos custos apresentados no Quadro 6.4 das duas amostras não estão incluídos os custos de mão de obra e para o *K13 Standard* já estão.

Portanto analisando os custos e os tempos de reverberação (apresentados no Quadro 6.3 e Fig. 6.2), pode dizer-se que não compensa aplicar o material *K13-standard* na garagem uma vez que os custos são muito elevados e o tempo de reverberação são aproximados ao da amostra C12A-f-i. Em relação à amostra T30-i, apesar de os custos serem menores não compensa uma vez que as diferenças dos tempos de reverberação ainda são significativas.

É importante referir que os valores dos tempos de reverberação adequados dependem da atividade a que o espaço se destina. Por exemplo, se a garagem posteriormente funcionar como estúdio de gravação, o TR médio ideal é cerca de 0,6 s mas se funcionar como sala de ensaio para uma banda filarmónica (em que os seus concertos são em espaços fechados) o TR médio ideal já é cerca de 1,5 s. Portanto nas duas situações necessitava-se de uma área de reabilitação menor para as amostras T30-i e C12A-f-i e do material *K13-standard*, para que o $TR_{\text{médio}}$ seja igual ao TR ideal. Analisando o Quadro 6.5, onde se pode ver as áreas necessárias a revestir com cada amostra e/ou material e os seus custos para um TR de 0,6 e 1,5 s, chega-se à conclusão que a melhor solução seria aplicar a amostra C12A-f-i.

Quadro 6.5 – Custos por metro quadrado das amostras T30-i e C12A-f-i e do material *K13-standard* com 25 mm de espessura e custos totais aplicando os diferentes materiais às três paredes e teto da garagem.

TR (s) desejado e previsível	Material	Área necessária (m ²)	Custo aprox. (€/m ²)	Custo total (€)
0,6	T30-i	61	1,2	73*
	C12A-f-i	34	3,3	112*
	<i>K13-standard</i> (25 mm)	27	38,0	1026**
1,5	T30-i	21	1,2	25*
	C12A-f-i	11	3,3	36*
	<i>K13-standard</i> (25 mm)	9	38,0	342**

* Custo apenas do material.

** Custo do material e mão de obra.

6.2. COMENTÁRIOS DE “BOA APLICAÇÃO” DE SUPORTES ALVEOLARES COMO ABSORVENTE

Para quem necessita de melhorar um espaço acusticamente com o objetivo de baixar o tempo de reverberação usando suportes alveolares de transporte e armazenamento de géneros alimentares (por exemplo ovos e frutas) ficam os seguintes comentários:

- Os tabuleiros para ovos sem pequenas aberturas, em geral, têm melhor desempenho que os tabuleiros com pequenas aberturas quando aplicados em superfície refletora. Quando são aplicados numa superfície absorvente então, em geral, os tabuleiros com aberturas expostos pela superfície normal têm um melhor desempenho que os tabuleiros para ovos sem pequenas aberturas;
- Os tabuleiros para ovos com pequenas aberturas, em geral, têm maior desempenho acústico se aplicados, em superfície refletora, com a face inversa voltada para cima. Caso a superfície de aplicação for um material absorvente, aconselha-se a que os tabuleiros com pequenas aberturas sejam colocados com a face normal voltada para cima;
- As caixas para 12 ovos de celulose moldada têm melhor desempenho quando estão fechadas;
- As caixas para 12 ovos abertas de celulose moldada têm, em geral, melhor desempenho que as caixas, abertas, para 12 ovos de plástico;
- As caixas analisadas nestes trabalho com melhor desempenho acústico em termos de absorção são: C12A-f (caixa para 12 ovos (com pequenas aberturas) fechada de celulose

moldada exposta pela superfície normal e inversa - Fig. 4.12 e 4.13) e C12-f-n (caixa para 12 ovos fechada de celulose moldada com a face normal voltada para cima - Fig. 4.16);

- O tabuleiro analisado neste trabalho com melhor desempenho acústico em termos de absorção é T30 (tabuleiro para 30 ovos de celulose moldada - Fig. 4.8 e 4.9) quando exposto pela superfície inversa.
- Os tabuleiros para ovos e para fruta e as caixas para ovos, em geral, têm melhor desempenho acústico quando expostos ao som pela superfície inversa;

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

Hoje em dia são cada vez mais usadas soluções económicas para corrigir acusticamente um espaço. Os responsáveis por espaços como salas de ensaio de bandas filarmónicas, salas de ensaio de “bandas de garagem” e estúdios de gravação, procuram cada vez mais soluções de baixo custo de conseguir reduzir os valores do tempo de reverberação e por vezes até aumentar a difusão no espaço. Uma das soluções que geralmente utilizam é aplicar nesses espaços suportes alveolares de armazenamento e transporte de ovos (vulgo “caixas de ovos”).

Portanto, este trabalho teve como objetivo caracterizar o desempenho acústico dos suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares como material absorvente de forma a se poder saber se esses materiais têm ou não capacidade de absorver o som tal como as pessoas julgam que absorve.

Foi pois com este trabalho possível calcular os coeficientes de absorção sonora e os índices NRC (*noise reduction coefficient*) e α_w de diferentes suportes alveolares de armazenamento e transporte e diversos posicionamentos.

Foram utilizados suportes alveolares de armazenamento e transporte de duas categorias: ovos e fruta, de modo a se poder ver quais as diferenças nos coeficientes de absorção sonora quando se utiliza-se geometrias distintas.

Os suportes alveolares de armazenamento e transporte de ovos e de fruta utilizados eram de dois diferentes materiais: celulose moldada e plástico, com o objetivo de se poder analisar quais as diferenças entre eles.

Entre os suportes alveolares de celulose moldada para o armazenamento e transporte de ovos foram utilizados três tipos de tabuleiros e dois tipos de caixas e nos suportes alveolares de plástico foi usado apenas um tipo de caixa. Em relação aos suportes alveolares de armazenamento e transporte de fruta foram utilizados apenas tabuleiros, um tipo de celulose moldada e outro de plástico. Foram utilizados diferentes geometrias em cada categoria, de forma a se poder ver quais as diferenças quanto aos coeficientes de absorção sonora. Com estes suportes alveolares fez-se no total 21 ensaios.

Os resultados obtidos relativamente ao coeficiente de absorção sonora de todos os suportes alveolares encontram-se na Fig. 5.33. Aí pode-se concluir que as diferenças entre os resultados das caixas para 12 ovos de celulose moldada e de plástico, quando ensaiadas abertas, foram evidentes. As caixas de plástico não absorvem praticamente nada em comparação com as caixas de celulose moldada.

Em relação aos três tipos de tabuleiros para ovos usados (excluindo a amostra T30A-n-ESP (tabuleiros para 30 ovos com pequenas aberturas expostos ao som pela superfície normal sobre placas de espuma *aglomex*)), estes não têm grandes diferenças em termos de coeficientes de absorção sonora. Porém, nota-se que existem diferenças na frequência onde se encontra o valor máximo do coeficiente de absorção. Quando os tabuleiros tinham pequenas aberturas e estavam com a face normal voltada para cima, o pico encontrava-se mais à direita (em frequências mais altas) e tinha um valor um pouco inferior ao valor do pico quando os tabuleiros tinham a face voltada para baixo. Isto quer dizer que talvez as aberturas não funcionem como ressoadores e os resultados são um pouco melhores quando essas aberturas estão tapadas pelo próprio pavimento da câmara reverberante. Porém, as pequenas aberturas não funcionam como ressoadores talvez porque o pavimento da câmara reverberante é refletor, tendo-se comprovado isso através da amostra T30A-n-ESP, uma vez que os resultados dos coeficientes de absorção sonora e da área de absorção sonora equivalente de cada elemento foram muito superiores em relação aos valores da amostra T30A-n (tabuleiros para 30 ovos com pequenas aberturas expostos ao som pela superfície normal) e de todas as outras amostras constituídas por tabuleiros para ovos. É importante referir que o tabuleiro para ovos sem aberturas tem, em geral, melhores resultados que os tabuleiros para ovos com aberturas expostos sobre superfícies refletoras.

Em relação aos ensaios realizados às caixas para 12 ovos de celulose moldada com ou sem aberturas, pode-se concluir que os resultados são superiores quando as caixas se encontram fechadas e têm a face inversa voltada para cima. Comparando os resultados quando as caixas se encontram abertas, as diferenças são distintas não em termos de valores numéricos mas em termos da evolução dos resultados (crescimentos e diminuição, valores máximos de coeficientes de absorção sonora mais à direita ou mais à esquerda, etc.), porém desconhece-se os motivos uma vez que os dois tipos de caixas usados têm geometrias muito distintas e mesmo em cada caixa elas não possuem a mesma geometria.

Comparando agora os valores dos coeficientes de absorção sonora dos tabuleiros (sem o ensaio onde se aplicou os tabuleiros sobre as placas *Aglomex*) com o das caixas para 12 ovos abertas de celulose moldada, pode-se verificar que em termos numéricos existem diferenças, tendo a amostra T30-i (tabuleiros para 30 ovos, de celulose moldada, com a face inversa voltada para cima) valores superiores nas médias frequências (500 a 1000 Hz) mas a partir dos 1000 Hz são as caixas que, em geral, têm valores superiores. Em termos de evolução dos resultados (valores máximos de coeficientes de absorção sonora mais à direita ou mais à esquerda) as diferenças também são significativas. Portanto entre os resultados dos tabuleiros (sem o ensaio onde se aplicou os tabuleiros sobre as placas *Aglomex*) e caixas de ovos abertas de celulose moldada não existe nenhuma amostra que se destaque em todas ou quase todas as frequências. Porém, comparando o ensaio que se realizou à amostra T30A-n sobre as placas *Aglomex* com as caixas para 12 ovos abertas, os resultados são evidentemente melhores nos tabuleiros sobre as ditas placas. Comparando os resultados de todas as amostras dos tabuleiros com as caixas de ovos fechadas, os resultados da amostra C12A-f-i (caixas para 12 ovos, com pequenas aberturas, de celulose moldada quando se encontram fechadas e a face inversa voltada para cima) são melhores em praticamente todas as frequências.

Logo, analisando os resultados de todos os tabuleiros e caixas de ovos de celulose moldada e plástico, a amostra C12A-f-i é a que tem coeficientes de absorção sonora superiores e a amostra CP12-a (caixas para 12 ovos de plástico quando se encontram abertas) é a que tem piores resultados.

Em relação aos suportes alveolares de armazenamento de fruta, os resultados dos coeficientes de absorção sonora são melhores para os tabuleiros de plástico, o que não se estava à espera porque serem de plástico. Mas como são elementos muito leves e têm bastante relevo (ao contrário dos tabuleiros de celulose moldada) talvez vibrem com as ondas sonoras e dissipem a energia incidente.

Portanto, analisando os resultados dos suportes alveolares de armazenamento e transporte de ovos e fruta pode-se dizer que a amostra C12A-f-i é a amostra que se destaca de todas as outras, com melhores coeficientes de absorção sonora e as amostras CP12-a e TF39 (tabuleiros de celulose moldada com 39 cavidades) com piores coeficientes de absorção sonora.

Pode-se também concluir que, em geral, os resultados quando as amostras são ensaiadas com a face inversa voltada para cima são melhores do que quando ensaiadas com a face normal voltada para cima.

No Quadro 7.1 estão apresentados os resultados dos coeficientes de absorção sonora e os índices NRC e α_w das amostras ensaiadas neste trabalho.

Quadro 7.1 – Coeficientes de absorção sonora (α_s) e índices NRC e α_w de todas as amostras ensaiadas (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, ESP – placas de Espuma *aglomex*, a – aberta, f – fechada, n – superfície normal, i – superfície inversa, ST – Sem Tampa, F – Fruta, P – Plástico).

Amostra	α_s para cada frequência (Hz)						NRC	α_w
	125	250	500	1000	2000	4000		
T20A-n	0,03	0,03	0,11	0,52	0,49	0,52	0,30	0,20
T20A-i	0,04	0,02	0,17	0,61	0,54	0,60	0,35	0,20
T30A-n	0,03	0,02	0,11	0,49	0,54	0,57	0,30	0,20
T30A-i	0,03	0,03	0,16	0,63	0,54	0,63	0,35	0,20
T30A-n-ESP	0,15	0,39	0,87	0,73	0,48	0,59	0,60	0,55
T30-n	0,03	0,05	0,28	0,62	0,45	0,57	0,35	0,30
T30-i	0,03	0,04	0,32	0,65	0,49	0,64	0,40	0,30
C12A-a-n	0,03	0,02	0,12	0,53	0,56	0,46	0,30	0,20
C12A-a-i	0,02	0,06	0,30	0,52	0,58	0,56	0,35	0,30
C12A-f-n	0,11	0,40	1,04	0,67	0,41	0,38	0,65	0,45
C12A-f-i	0,08	0,36	1,04	0,68	0,70	0,55	0,70	0,65
C12A-a-n-ST	0,06	0,09	0,38	0,87	0,56	0,56	0,50	0,35
C12-a-n	0,04	0,04	0,11	0,50	0,61	0,48	0,30	0,20
C12-a-i	0,03	0,03	0,19	0,58	0,59	0,60	0,35	0,25
C12-f-n	0,09	0,14	0,52	0,74	0,51	0,58	0,50	0,40
TF39-n	0,01	0,02	0,05	0,36	0,46	0,39	0,20	0,10
TF39-i	0,02	0,03	0,11	0,55	0,41	0,42	0,25	0,20
CP12-a-n	0,03	0,02	0,06	0,35	0,36	0,51	0,20	0,15
CP12-a-i	0,03	0,04	0,12	0,38	0,40	0,47	0,25	0,20
TPF24-n	0,03	0,04	0,17	0,29	0,58	0,37	0,25	0,25
TPF24-i	0,05	0,07	0,23	0,37	0,66	0,38	0,35	0,25

Em relação aos valores dos índices NRC e α_w , pode-se dizer que variam entre 0,20 e 0,70 e entre 0,10 e 0,65, respetivamente, sendo que os melhores resultados são da amostra C12A-f-i e os piores para a amostra TF39-n (tabuleiros de celulose moldada com 39 cavidades quando ensaiada com face normal voltada para cima).

Com as observações obtidas analisando os coeficientes de absorção e com os resultados do Quadro 5.25 chega-se à conclusão que a amostra C12A-f-i é a amostra que se destaca de todas as outras com melhores resultados.

De forma a se poder conhecer qual a influência nos tempos de reverberação quando a amostra for aplicada num espaço, fez-se uma aplicação teórica numa hipotética garagem (6x6x3 m³) onde se aplicou em três paredes e no teto a amostra com melhores resultados constituída por tabuleiros (sem utilizar a amostra onde utilizou as placas *Aglomex* por estarmos a usar mais de que um material e não era o pretendido) e por caixas para ovos (amostras T30-i e C12A-f-i, respetivamente). Aplicou-se também nessas mesmas três paredes e teto, o *K13-standard* (25 mm de espessura) e o aglomerado composto de cortiça (materiais com bom e fraco desempenho acústico, respetivamente), de forma a saber se acusticamente compensa ou não aplicar os suportes alveolares. Analisando os resultados dos tempos de reverberação e os custos para cada solução, chegou-se à conclusão que a solução mais adequada, quando se pretende melhor um espaço sem gastar muito dinheiro, é utilizar as caixas para 12 ovos, com pequenas aberturas, de celulose moldada e aplica-las fechadas com a face inversa voltada para cima (C12A-f-i).

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De modo a completar o estudo da caracterização acústica de suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares, seria útil fazer a análise dos coeficientes de absorção sonora para mais tipos e outras configurações em relação de suportes alveolares de ovos e, principalmente aos suportes alveolares de fruta, uma vez que o mercado é grandemente diversificado e as amostras ensaiadas mostraram que afinal, mesmo o material sendo plástico, tem alguma capacidade de absorver o som.

Neste trabalho foram utilizadas cinco amostras com áreas um pouco inferiores à estabelecida na norma NP EN ISO 354 [4] (pois não se tinha elementos suficientes). Portanto, seria importante que essas amostras fossem estudadas novamente com áreas superiores ao limite mínimo de 10 m² estabelecido nessa norma para se poder ver se realmente as conclusões que se tirou do trabalho *Absorption coefficients-part 2: is "edge effect" more important than expected?*[23] apresentado no congresso *Inter-Noise* 2009 estão corretas.

Uma das coisas que também seria útil, era fazer a aplicação prática dos suportes alveolares num espaço concreto e medir todos os parâmetros que foram analisados neste trabalho no local e compará-los com os obtidos teoricamente, assim como os custos de aplicação.

Por último, poderia ser realizado um estudo aos suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares quanto à sua capacidade de difusão, uma vez que por exemplo os tabuleiros de ovos são aplicados não só com o objetivo de absorção sonora mas também de difundir o som.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Propagação do som. http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/Ondas.htm. Acedido em Março de 2014.
- [2] Carvalho, António Pedro Oliveira. Acústica Ambiental e de Edifícios, edição 8.5, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Setembro de 2013.
- [3] ISO 10534-1:1996, *Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio*.
- [4] NP EN ISO 354: 2007, Acústica. *Medição da absorção sonora em câmara reverberante*.
- [5] ASTM C423: 1984. “*Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*”.
- [6] EN ISO 11654: 1997, *Acoustics. “Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption”*.
- [7] Materiais porosos. http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2959__AcusEdif_FC_Parte2.pdf. Acedido em Março de 2014.
- [8] Tempos de reverberação ideais. <http://logacustica.com/projetos-acusticos-acoustic-projects/>. Acedido em Março de 2014.
- [9] Difusores acústicos. <http://www.xix-acoustics.com/2012/07/19/custom-acoustic-treatment-photos/>. Acedido em Março de 2014.
- [10] Difusores acústicos. <http://www.acousticsfirst.com/diffuser-art-diffusor-model-w.htm>. Acedido em Março de 2014.
- [11] Caixas para ovos. http://cemosa.inikernet.biz/SitePages/Listado_Productos.aspx?F=1&SF=12&SSF=1. Acedido em Abril de 2014.
- [12] Caixas para ovos. http://cemosa.inikernet.biz/SitePages/Listado_Productos.aspx?F=1&SF=12&SSF=2. Acedido em Abril de 2014.
- [13] Caixas para ovos. <http://www.soul-cemosa.es/disenio.php>. Acedido em Abril de 2014.
- [14] Tabuleiros para fruta. http://cemosa.inikernet.biz/SitePages/Listado_Productos.aspx?F=2&SF=5. Acedido em Abril de 2014.
- [15] Tabuleiros para fruta. <http://www.embalpom.com/artigo.aspx?id=969>. Acedido em Abril de 2014.
- [16] Salas de ensaio. <http://www.filarmonicasjareias.com/page/2/>. Acedido em Março de 2014.
- [17] Estúdios. <http://www.tvi.iol.pt/iloveit/extras/estudio-de-musica/1533632>. Acedido em Março de 2014.
- [18] Estúdios. http://blogueforanada.blogspot.pt/2006_04_09_archive.html. Acedido em Março de 2014.
- [19] Estúdios. <http://guitarradas.forum0.net/t4292-o-meu-mini-estudio-com-fotos-novas>. Acedido em Março de 2014.
- [20] Salas de ensaio. <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=437782129669319&set=t.100003126083768&type=3&theater>. Acedido em Março de 2014.

- [21] *Acoustics First Corporation*. <http://www.acousticsfirst.com/eggc.htm>. Acedido em Março de 2014.
- [22] *Acoustics First Corporation*. <http://www.acousticsfirst.com/docs/egg.pdf>. Acedido em Março de 2014.
- [23] Sauro, Ronald., Vargas, Michael., Mange, Garay. *Absorption coefficients-part 2: is “edge effect” more important than expected?*. Agosto de 2009. http://nwaalabs.ipower.com/Files/NWAA%20Labs/IN09_092.pdf. Acedido em Maio de 2014.
- [24] Coeficientes de absorção sonora. <http://logacustica.com/coeficientes-de-absorcao-sonora-sound-absorption-coefficients/>. Acedido em Maio de 2014.
- [25] Catálogo comercial do produto *SonaSpray* da empresa *S.T.I.E.R.* <http://www.stier-acustica.com/Ficheiros.ashx?i=11846>. Acedido em Maio de 2014.
- [26] Difusores acústicos. <http://www.someacustica.com/difusores-acusticos/>. Acedido em Maio de 2014
- [27] ASTM E795: 1983. “*Standard Practices for Mounting Test Specimens During Sound Absorption Tests*”.
- [28] *Flex2000*. <http://aglomex.flex2000.pt/>. Acedido em Maio de 2014.
- [29] *Flex2000*. <http://www.flex2000.pt/>. Acedido em Maio de 2014.